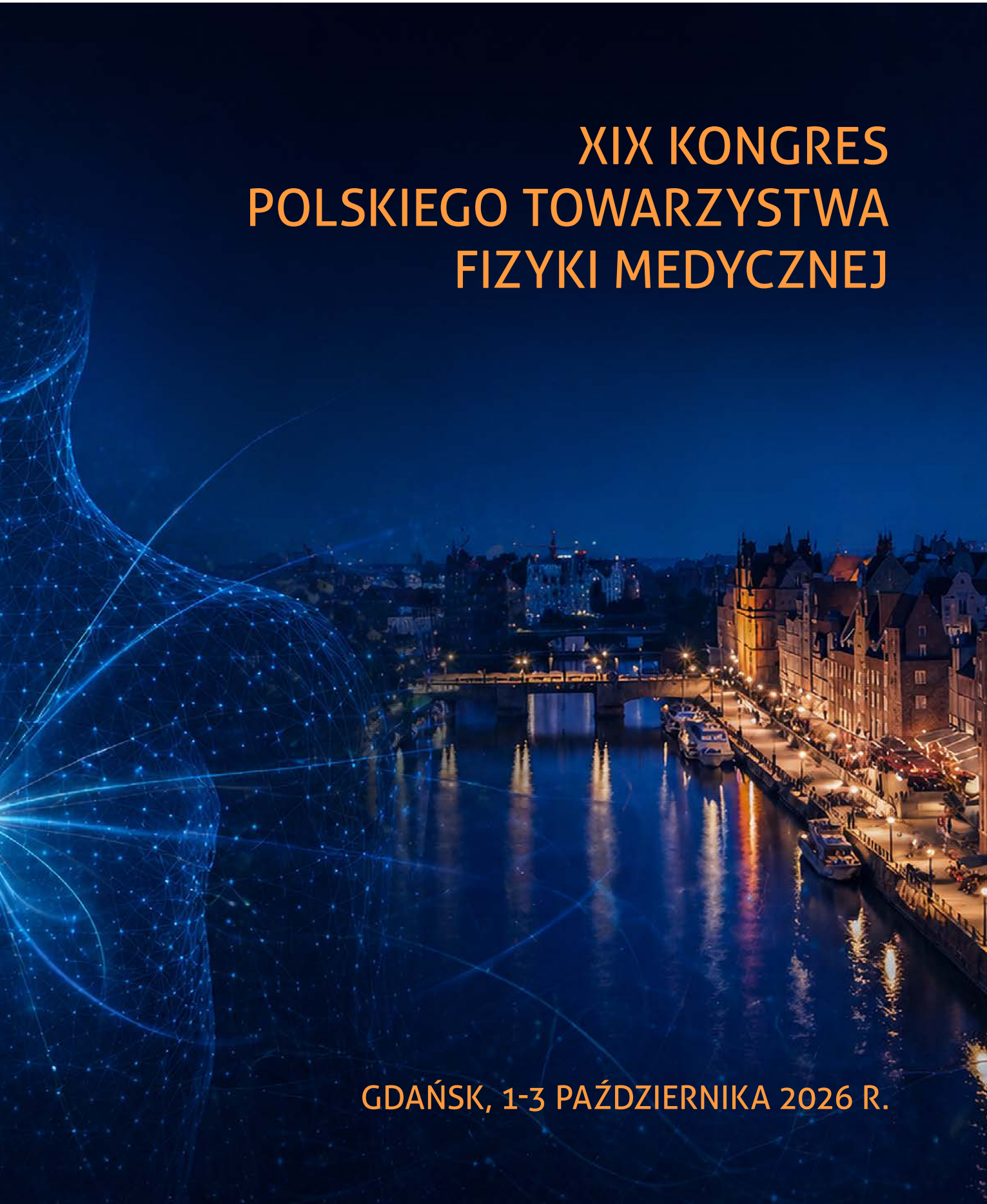
XIX KONGRES POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYKI MEDYCZNEJ



GDAŃSK, 1-3 PAŹDZIERNIKA 2026 R.

ACCURAY

Radixact® System

The most comprehensive breast cancer treatment system

VitalHold™

- Cardiac sparing for breast cancer with TomoDirect and DIBH with automated beam gating using SGRT
- Easy setup; tattoo-free
- Confident monitoring
- Fast delivery



TMS

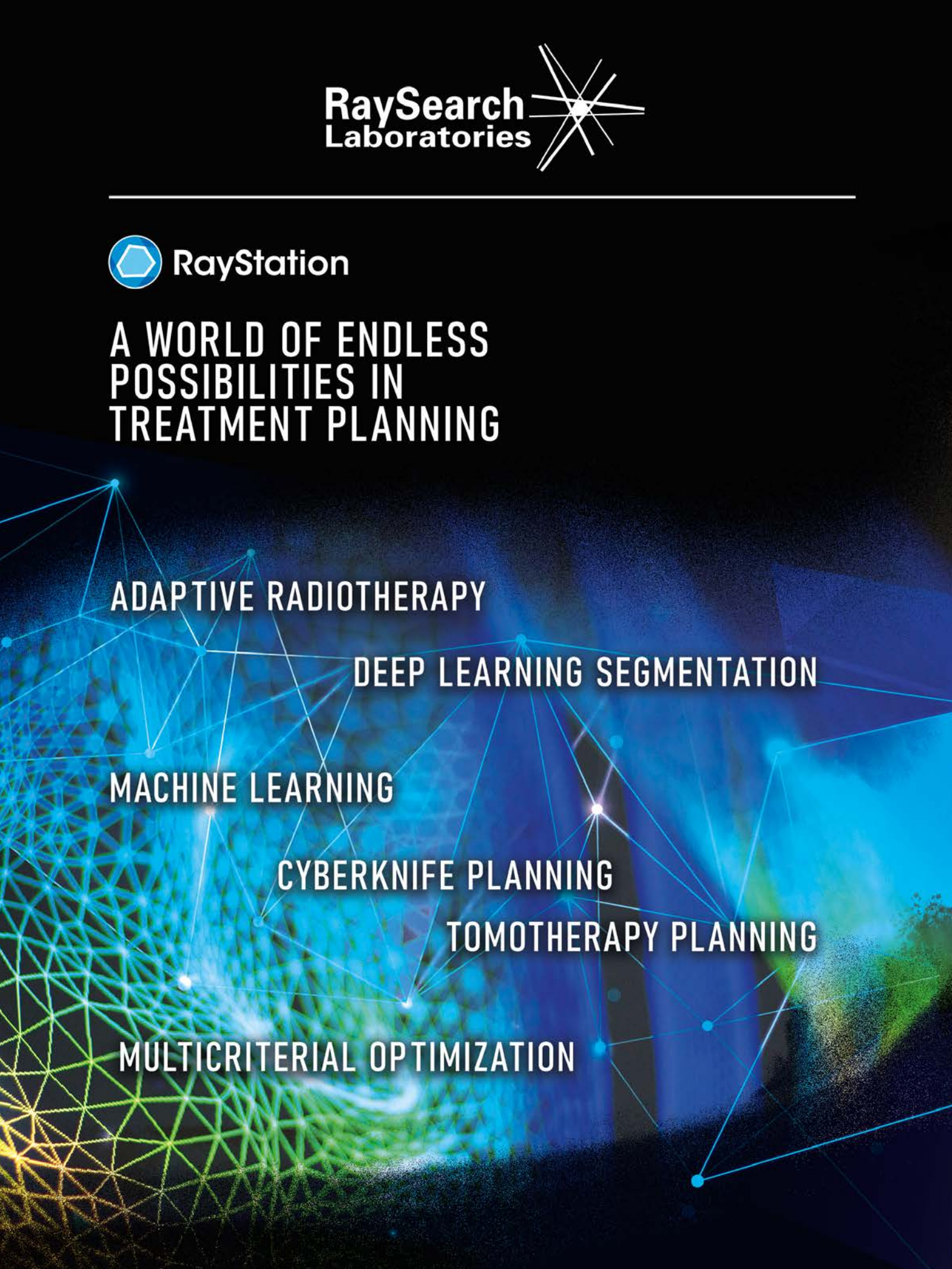
WYŁĄCZNY DYSTRYBUTOR SYSTEMÓW DO RADIOTERAPII FIRMY ACCURAY

TMS Sp. z o.o. | tel.: **+48 22 858 28 19/20** | e-mail: **tms@tms.com.pl**

RaySearch Laboratories

RayStation

A WORLD OF ENDLESS POSSIBILITIES IN TREATMENT PLANNING



Szanowni Państwo!



Tomasz Piotrowski
prof. dr hab.



Joanna Kamińska
dr inż.

Kongres Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej jest jednym z najważniejszych wydarzeń naukowych i środowiskowych dla osób związanych z fizyką medyczną w Polsce. Organizowany cyklicznie, co dwa lata, stanowi przestrzeń do prezentacji najnowszych osiągnięć naukowych, wymiany doświadczeń klinicznych oraz dyskusji nad kierunkami rozwoju naszej dyscypliny.

Tegoroczna **XIX edycja Kongresu PTFM** odbywa się w Gdańsku – po raz pierwszy w historii naszego Towarzystwa. To dla nas ogromny zaszczyt i odpowiedzialność móc gościć Państwa w mieście o wyjątkowej historii, akademickim potencjale i dynamicznie rozwijającym się środowisku medycznym oraz naukowym.

Kongres organizowany jest we współpracy z ośrodkami klinicznymi i akademickimi Trójmiasta, a wydarzenie zostało objęte patronatami instytucji wspierających rozwój nauki, medycyny i nowoczesnych technologii. Szczególne znaczenie mają dla nas: Honorowy Patronat Prezydenta Miasta Gdańska, Honorowy Patronat Rektora Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego, Honorowy Patronat Uczelni Fahrenheita oraz patronat Uniwersyteckiego Centrum Klinicznego, podkreślające interdyscyplinarny charakter fizyki medycznej i jej miejsce na styku medycyny, nauki, technologii oraz współpracy międzyuczelnianej.

Współczesna fizyka medyczna stanowi jeden z filarów bezpiecznej, skutecznej i nowoczesnej diagnostyki oraz terapii. Fizyk medyczny jest kluczowym członkiem zespołu klinicznego, odpowiedzialnym za jakość, precyzję i bezpieczeństwo procedur medycznych wykorzystujących promieniowanie oraz za wdrażanie zaawansowanych technologii do praktyki klinicznej. Jego rola obejmuje nie tylko kontrolę jakości i obliczenia dozymetryczne, ale także współtworzenie strategii leczenia, ocenę nowych metod obrazowania i terapii, analizę danych, rozwój procedur oraz budowanie standardów, które bezpośrednio wpływają na bezpieczeństwo pacjentów i efektywność leczenia.

W trakcie Kongresu poruszymy zagadnienia związane z radioterapią, diagnostyką obrazową, medycyną nuklearną, ochroną radiologiczną, brachyterapią, terapią protonową, sztuczną inteligencją, nowoczesną dozymetrią, kontrolą jakości oraz bezpieczeństwem pacjentów. Ważną częścią programu będą również projekty wieloośrodkowe, sesje interdyscyplinarne oraz dyskusje dotyczące aktualnych regulacji prawnych i roli fizyka medycznego w systemie ochrony zdrowia.

Kongres to także miejsce integracji naszego środowiska – zarówno przedstawicieli ośrodków klinicznych, jednostek akademickich i naukowych, jak również firm oraz instytucji wspierających rozwój fizyki medycznej. Wierzymy, że spotkanie w Gdańsku stanie się okazją do zacieśnienia współpracy, wymiany doświadczeń oraz zainicjowania kolejnych wspólnych projektów naukowych i klinicznych.

W programie Kongresu znalazły się liczne wykłady zaproszone, doniesienia ustne, prezentacje plakatowe, sesje tematyczne, debaty oraz wydarzenia towarzyszące. Szczególnie cieszy nas szerokie zaangażowanie przedstawicieli różnych dziedzin fizyki medycznej oraz obecność wielu ośrodków z całej Polski.

W imieniu Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej, Komitetu Naukowego oraz Komitetu Organizacyjnego XIX Kongresu PTFM życzymy Państwu owocnych obrad, inspirujących spotkań, ciekawych dyskusji oraz niezapomnianych chwil spędzonych w Gdańsku.

Tomasz Piotrowski
Przewodniczący Komitetu Naukowego XIX Kongresu PTFM
Prezes Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej
Joanna Kamińska
Przewodnicząca Komitetu Organizacyjnego
XIX Kongresu PTFM

SPIS TREŚCI

Słowo wstępne 4

Program 11

Środa: Spotkanie Sekcji Diagnostyki Obrazowej 21

Wpływ optymalizacji parametrów ekspozycji na dawkę – przypadki kliniczne 21

Optymalizacja w mammografii 21

Analiza dawek pacjentów pediatrycznych w badaniach tomografii komputerowej głowy 22

Czy optymalizacja dawek zawsze oznacza jedynie ich obniżanie? – lokalne poziomy referencyjne dawek promieniowania jonizującego jako jedno z narzędzi optymalizacji protokołów diagnostycznych w procedurach PET/CT 22

Monitorowanie i optymalizacja dawek w Zakładzie Diagnostyki Obrazowej i Radiologii Zabiegowej – teoria, praktyka, życie 24

Analiza dawek promieniowania, w tym lokalnych poziomów referencyjnych opartych na BMI, w tomografii komputerowej serca u pacjentów dorosłych. Wpływ protokołów badań na dawkę dla pacjenta 26

Systemy automatycznej kontroli ekspozycji CARE Dose 4D/CARE kV i Auto Prescription w tomografii komputerowej pod kątem optymalizacji protokołów diagnostycznych 26

Wielokryterialna optymalizacja w radiologii 27

Optymalizacja w stomatologii 27

Optymalizacja protokołu obrazowania CBCT w radioterapii adaptacyjnej 27

Czynniki istotne dla optymalizacji dawki pacjenta z uwzględnieniem obszaru badania i rodzaju procedury radiologicznej 28

Pozyskiwanie danych opisujących narażenie pacjenta z plików DICOM i RDSR z użyciem skryptów w języku Python 29

Czwartek, Sesja: Promieniowanie niejonizujące 30

Wykorzystanie fNIRS jako techniki ewaluacyjnej w terapii medycznej 30

Obrazowanie termiczne w ocenie symetrii pracy mięśniowej podczas treningu progresywnego 30

Wykorzystanie HR NMR w identyfikacji biomarkerów indywidualnej skuteczności i toksyczności radiochemioterapii u chorych na raka głowy i szyi 31

Zintegrowana ocena odpowiedzi biologicznej na mikro- i nanoplastiki oraz ich internalizacji w komórkach rozrodczych 32

Strategie modyfikacji powierzchni nanocząstek tlenku żelaza w aspekcie zastosowań w obrazowaniu magnetycznorezonansowym 32

Koncepcyjna architektura sprzętowa wielokanałowej platformy RF do realizacji beamformingu w adaptacyjnej hipertermii śródtkankowej zintegrowanej z brachyterapią HDR 33

Czwartek, Sesja: Diagnostyka obrazowa 34

Zastosowania robotyki w medycynie, ze szczególnym uwzględnieniem radiologii 34

Implementacja sekwencji EPI 3D z technikami przyspieszania akwizycji na systemie 1,5 T do szybkiego obrazowania mózgu w diagnostyce stwardnienia rozsianego u dzieci 36

Czy naprawdę można pracować bez osłon indywidualnych? Zastosowanie innowacyjnego systemu antyradiacyjnego Rampart podczas zabiegów z zakresu kardiologii zabiegowej 36

Zastosowanie systemu robotycznego R-One Robotic System w interwencjach sercowo-naczyniowych 38

Porównanie technik tłumienia sygnału tkanki tłuszczu w rezonansie magnetycznym – skuteczność, jednorodność i odporność na artefakty 38

Czwartek, Sesja: FARu 40

Jak zwiększyć wykrywalność tętniaków wewnątrzczaszkowych z wykorzystaniem uczenia maszynowego 40

Od radioterapii do kosmosu – jak technologie medyczne wspierają eksplorację kosmosu, a medycyna kosmiczna zmienia opiekę nad pacjentem 40

Fizyka medyczna jako przestrzeń integracji środowisk akademickich, klinicznych, sektora ochrony zdrowia i otoczenia społeczno-gospodarczego 41

Minimalny protokół kontroli jakości dla narzędzi sztucznej inteligencji w radiologii. Propozycja możliwa do wdrożenia w warunkach krajowych 41

Niskodawkowa tomografia komputerowa (LDCT) w badaniach przesiewowych raka płuca – wyznaczenie lokalnych poziomów referencyjnych 42

Structural MRI Data Quality: A Repeatability and Reproducibility Evaluation 43

Czwartek, Sesja: Projekty naukowe 44

Metody wyznaczania dawki skumulowanej w procedurach ponownego napromieniania w Polsce – badanie ankietowe i wieloośrodkowa analiza przypadków klinicznych PTFM 44

Aktualna praktyka kliniczna wykorzystania radioterapii sterowanej obrazem powierzchni ciała pacjenta w polskich ośrodkach radioterapii jako podstawa do opracowania krajowych zaleceń PTFM i PTE 45

Aspekty ochrony radiologicznej obrazowania CBCT w radioterapii – projekt CBCT-PL 45

Wieloośrodkowa ocena metod dozymetrycznych w radioterapii stereotaktycznej z wykorzystaniem fantomu RUBY 48

Piątek, Sesja: Medycyna nuklearna 50

Nowelizacja Rozporządzenia w sprawie testów eksploatacyjnych w medycynie nuklearnej 50

Wpływ schematu obliczeń Monte Carlo na wyniki indywidualnej dozymetrii w terapii radiofarmaceutykami 50

Wpływ metody podawania ^{177}Lu-DOTATATE na narażenie dłoni personelu medycyny nuklearnej – wyniki z dwóch polskich ośrodków na tle badań europejskich 52

Korekcja ruchu pacjenta w badaniu 18F-FDG PET/CT u dzieci i młodych dorosłych z lekooporną padaczką 52

Wyznaczanie dawki terapeutycznej 131I w leczeniu nadczynności tarczycy na podstawie gromadzenia 99mTc-nadtechnecjanu, przy użyciu gammakamery wyposażonej w detektory typu CZT 54

OpenDose – dozymetria open source w medycynie nuklearnej 54

Piątek, Sesja: Rentgenodiagnostyka i radiologia zabiegowa 57

Wstępne propozycje zmian w testach eksploatacyjnych urządzeń radiologicznych i pomocniczych ze szczególnym uwzględnieniem radiologii 57

Jak i po co weryfikować wskazania mierników DAP? 57

Mapowanie PSD w czasie rzeczywistym w zabiegach kardiologicznych 58

Mniejsze dawki, więcej szczegółów: photon-counting CT w obrazowaniu kości skroniowych i zatok 59

Wykorzystanie prototypowej sekwencji MC-GRASE w celu ilościowej oceny mieliny u dzieci – doniesienie wstępne 59

Piątek, Sesja: Radioterapia 62
Mammae Mia! 62
Radioterapia adaptacyjna – CHALLENGE accepted 62
Wyznaczenie i analiza krzywych HU dla tomografu NAEOTOM Alpha na potrzeby systemu planowania radioterapii 64
Interwencyjna adaptacyjna radioterapia zmian przerzutowych FAST-METS z wykorzystaniem systemu Ethos 64
Zastosowania ciągłego dodatniego ciśnienia w drogach oddechowych (Continuous Positive Airway Pressure, CPAP) podczas radioterapii chorych na raka lewej piersi niekwalifikujących się do techniki DIBH – wstępna analiza dozymetryczna 66
Piątek, Sesja: Dozymetria w radioterapii 70
Testy i nowelizacja rozporządzenia – sprawozdanie 70
Testy kontroli jakości dla technik stereotaktycznych realizowanych na liniowych akceleratorach medycznych z ramieniem C. Zalecenia Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej 70
Pierwsze doświadczenia z systemem PntDos™ do dozymetrii in vivo 72
Porównanie metod kontroli jakości (PSQA), opartych na EPID i analizie plików dziennikowych (logfile), dla planów realizowanych w fantomie antropomorficznym w warunkach kontrolowanego wprowadzania błędów 74
Od surowych sygnałów detektora do krzywych o znaczeniu dozymetrycznym: interpretacja danych Dose3D-Future z wykorzystaniem metody Monte Carlo na platformie G4RT 74
Bezpośrednia charakterystyka widma energetycznego wiązek elektronowych akceleratora śródoperacyjnego AQURE oraz wiązek UHDR 75
Piątek: Ustna sesja plakatowa 76
Czy fMRU może zastąpić scyntygrafię MAG3? Wstępna ilościowa ocena czynności nerek (vpDRF, RTT) u dzieci z megaureterem 76
Wpływ wybranych parametrów odczytu detektorów termoluminescencyjnych na niepewność wyznaczania dawki promieniowania jonizującego 76
Radiacyjna odpowiedź adaptacyjna – mechanizm ochronny czy czynnik promieniowrażliwości komórek nowotworu gruczołu krokowego 77
Projekt fantomu do weryfikacji geometrii systemu planowania brachyterapii prostaty 78
Badanie MRI zatok przynosowych o rozdzielczości 0,31 mm sekwencją ultrakrótkiego czasu echa: charakterystyka obrazowania w badaniu proof-of-concept 78
Integracja zaawansowanych technik radioterapii poprzez standaryzowane ścieżki leczenia ARIA (ARIA Care Paths) 79
Kontrola jakości stereotaktycznych planów leczenia z wykorzystaniem detektorów alaninowych w systemie CyberKnife 80
Wykorzystanie spektroskopii i obrazowania wibracyjnego w badaniach nad prewencją raka żołądka 80
Czy sposób definiowania funkcji celu na etapie planowania leczenia wpływa na jakość realizowanej terapii w każdej z poszczególnych frakcji? 81
Sobota, Sesja: Protony, SGRT 82
Powtarzalność i dokładność pozycjonowania pacjentek leczonych techniką DIBH z zastosowaniem systemów SGRT 82
Radioterapia protonowa pacjenta pediatrycznego z zastosowaniem metody fiksacji gałki ocznej na stanowisku gantry – opis przypadku 82
Radioterapia protonowa u pacjentów pediatrycznych 83
Radioterapia protonowa ultrawysoką mocą dawki (FLASH) – aspekty techniczne i dozymetryczne 83
Narzędzie do szybkiej analizy 4D odporności planów leczenia w terapii protonowej narządów ruchomych 84
Kliniczny przypadek napromieniania pacjentki w ciąży radioterapią protonową – procedura szacowania dawki płodowej 84
Sobota, Sesja: Brachyterapia 87
Podsumowanie dziesięcioletniej działalności Sekcji Brachyterapii Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej 87
Który parametr DVH powinien definiować pokrycie GTV w jednofrakcyjnej HDR-BT wątroby? Analiza na poziomie pojedynczej zmiany 87
Analiza wpływu różnic aktywności źródeł I-125 w zakresie tolerancji producenta na rozkład dawki w brachyterapii uLDR raka gruczołu krokowego 88
Analiza dozymetryczna w przebiegu leczenia pacjentów z nowotworem prostaty metodą brachyterapii uLDR 88
Dynamiczne środowisko zintegrowanego planowania adaptacyjnej termobrachyterapii z wykorzystaniem sprzężonych modeli obliczeniowych 89
Pilotażowy audyt dozymetryczny dla brachyterapii HDR w Polsce przeprowadzony zgodnie z metodyką IAEA 90
Sobota, Sesja: Bezpieczeństwo vs wolność 91
Droga od pomysłu do wprowadzenia wyrobu medycznego do szpitala 91
Audyty kliniczne – podsumowanie ostatnich lat 91
Raport IAEA nr 50: praktyczny model bezpiecznego wdrażania AI w obrazowaniu medycznym i radioterapii 92
Ewolucja źródeł niepewności w radioterapii. Czy zmienia się największe wyzwanie fizyki medycznej? 92
Od 1 mm do 15% – jak gradient dawki redefiniuje dokładność w radioterapii 93
Sobota, Sesja: Ochrona radiologiczna 94
Porównanie odpowiedzi dozymetrycznej szkieł ekranów smartfonów oraz detektorów MCP-N i MTS-N z wykorzystaniem procedur radioterapeutycznych 94
Projekt RetroGlass: opracowanie bazy danych na potrzeby dozymetrii retrospektywnej w oparciu o charakterystykę właściwości fizycznych szkieł ekranów smartfonów 94
Analiza komponentów kinetycznych OSL kamieni szlachetnych stosowanych w biżuterii w kontekście stabilności sygnału i zastosowań w dozymetrii retrospektywnej 95
Narażenie wewnętrzne na promieniowanie jonizujące – monitoring biologiczny i ocena dawek 96
Narażenie społeczeństwa na promieniowanie jonizujące X po 131 latach od odkrycia W.K. Roentgena 96
e-Postery: Promieniowanie niejonizujące 97
Ilościowa segmentacja sygnału fluorescencyjnego ROS w obrazach mikroskopowych komórek macicy eksponowanych na mikroplastiki 97
Zastosowanie termografii dynamicznej w diagnostyce skrzywień kręgosłupa u dzieci i młodzieży 98
Wpływ nasyconych i nienasyconych kwasów tłuszczowych na właściwości wiążące albuminy surowicy ludzkiej w modelu in vitro hiperglikemii – studia spektroskopowe 98
Wpływ endogennych kwasów tłuszczowych na wiązanie losartanu do albuminy wyizolowanej z surowicy pacjentów z marskością wątroby – badanie pilotażowe 99
Ocena wpływu właściwości fizykochemicznych na internalizację mikro- i nanoplastików przy pomocy mikrospektroskopii ramanowskiej 100
e-Poster: Diagnostyka obrazowa i medycyna nuklearna 101
Walidacja wykorzystania skanera PET/CT jako metody analizy chromatografii cienkowarstwowej w kontroli jakości radiofarmaceutyków 101
Whole-Body MRI – znaczenie, możliwości i wyzwania we współczesnej diagnostyce obrazowej 101
Rezonans magnetyczny serca u pacjentów z wszczepialnymi układami stymulującymi – wyzwania i praktyczne rozwiązania 102

Metody rezonansu magnetycznego w ilościowej ocenie stłuszczenia wątroby ... 102
Badanie zależności kątowej luminancji monitorów ciekłokrystalicznych (LCD) ... 103
Biopsja prostaty pod kontrolą MR – praktyczne aspekty, wyzwania i wnioski po 7 latach doświadczeń ... 103
Generowanie wydruków 3D płodów na podstawie modeli uzyskanych z sekwencji obrazów MRI 2D ... 104
Analiza porównawcza autorskiej sieci konwolucyjnej (MammoNet) z modelem uczenia transferowego (ResNet-18) w klasyfikacji obrazów mammograficznych z zastosowaniem technik Explainable AI ... 104
Codzienne dopuszczenie tomografu komputerowego do użytkowania klinicznego na podstawie kontroli jakości, w tym zgodnie z wymaganiem producenta ... 105
Jak fizyk medyczny może wdrożyć i utrzymać system codziennych testów tomografu komputerowego wg zaleceń producenta przy udziale dużego zespołu elektroradiologów? ... 106
Zaawansowane techniki MRI w obrazowaniu nerwów czaszkowych ... 107
Widmo pod wpływem – suplementy diety a interpretacja 1H-MRS mózgu ... 107
Obiektywizacja oceny rozdzielczości przestrzennej w ultrasonografii ... 108
Mierniki DAP/KAP – czy możemy zrobić więcej w tym temacie w Polsce? ... 108
Analiza dawek w ogólnodiagnostycznych procedurach radiologicznych – co możemy zrobić, kiedy w nagłówkach plików DICOM brakuje informacji o dawce?. 109
Czy wartości szarości w stomatologicznym CBCT są porównywalne między aparatami? Badanie fantomowe z odniesieniem do klasycznej tomografii komputerowej ... 110
Skuteczność systemów automatycznej kontroli ekspozycji (AEC) w mammografii: wpływ lokalnych zmian gęstości oraz obecności implantów piersi ... 110
Porównanie wpływu fizycznych i wirtualnych kratek przeciwrozproszeniowych na jakość obrazu i średnią dawkę gruczołową (MGD) w mammografii cyfrowej ... 111
Od kosteczek słuchowych do implantów: zastosowania photon-counting CT w obrazowaniu kości skroniowej ... 111

e-Poster: Dozymetria i ochrona radiologiczna ... 113

Ocena występowania artefaktów pierścieniowych w obrazowaniu kV-CBCT systemu Ethos HyperSight na podstawie analizy obrazów pacjentów oraz testów fantomowych ... 113
Manual czy (semi)automat? Porównanie metod analizy testów jakości obrazowania kV CBCT ... 113
Wysokoczęstotliwościowa analiza przebiegów dozymetrycznych promieniowania rozproszonego i wtórnego podczas pracy akceleratora medycznego ... 114
Dozymetria żelowa 3D w weryfikacji SPL dla implantów o wysokim Zeff i walidacji izocentrum akceleratorów Elekta ... 115
Projekt, wykonanie i walidacja wkładki dozymetrycznej do fantomu Dynamic Thorax Phantom, przeznaczonej do weryfikacji stereotaktycznych planów leczenia z wykorzystaniem detektorów MCP-N ... 116
Wzorzec pierwotny dawki pochłoniętej w wodzie dla wiązek fotonów 6, 10 i 15 MV – walidacja metrologiczna ... 116
Implementacja testu Accuray E2E Synchrony QA aparatu CyberKnife na platformę Radixact ... 117
Dozymetria tranzytowa in vivo z wykorzystaniem systemu EPIgray (Elekta) – analiza dawek w punktach w warunkach fantomowych ... 118
Porównanie trzech metod weryfikacji planów SBRT realizowanych na MR-Linac'u Unity – doświadczenia własne ... 119
Kliniczne wdrożenie fantomu Ruby do dozymetrycznej weryfikacji planów leczenia w radioterapii oraz kontroli systemów obrazowania akceleratorów liniowych ... 119
Zabezpieczenie źródeł promieniotwórczych w działalności medycznej – aspekty prawne, poziomy zagrożeń oraz metody ochrony ... 120
Ocena spójności i czułości testów Machine Performance Check (MPC) na tle tygodniowych pomiarów dozymetrycznych akceleratorów VitalBeam i TrueBeam ... 121
Mechaniczne izocentrum akceleratora – fundament precyzji radioterapii precyzyjnej małych guzów ... 121
Wzorce odniesienia do wyznaczania objętości czynnej komór jonizacyjnych z użyciem rentgenowskiej tomografii przemysłowej ... 122
Krajowe audyty dozymetryczne TLD w Polsce w latach 2025–2026 – ocena jakości radioterapii zgodnie z metodyką IAEA ... 123

e-Poster: Radioterapia i brachyterapia ... 124

AAA vs Acuros – wpływ wyboru algorytmu obliczeniowego na rozkład dawki w radioterapii nowotworów piersi ... 124
Charakterystyka dozymetryczna materiałów stosowanych w druku 3D indywidualnych bolusów: od sztywnego PLA do elastycznego TPU ... 124
Ocena jakości fuzji sztywnej obrazów medycznych w radioterapii zgodnie z zaleceniami raportu AAPM TG-132 z wykorzystaniem systemu MIM (MIM ProtégéAI) ... 125
Międzyfrakcyjna zmienność objętości obszarów tarczowych u pacjentek ginekologicznych leczonych z zastosowaniem radioterapii adaptacyjnej online ... 125
Radioterapia adaptacyjna online nowotworów głowy i szyi w systemie Ethos: pilotażowe wdrożenie i potencjalne korzyści dozymetryczne ... 126
Ocena nowego narzędzia do pomiaru długości igieł w brachyterapii HDR prostaty ... 127
Porównanie manualnych obliczeń EQD_2 i biologicznej akumulacji dawki w RayStation w planowaniu reirradiacji po 14 latach – opis przypadku ... 127
Ocena jakości weryfikacji VMAT z wykorzystaniem systemu EpiBeam (Dosisoft) ... 128
Między komórkami o promieniowaniu – wpływ egzosomów na efekt sąsiedztwa i promieniowrażliwość komórek nowotworowych gruczołu krokowego ... 129
Dokładność obliczania dawki na obrazach CBCT z populacyjnymi i fantomowymi krzywymi kalibracyjnymi – badanie wstępne na fantomie w perspektywie zastosowania CBCT w radioterapii adaptacyjnej ... 129
Od próbki krwi do widma spektroskopowego: czy chemioradioterapia pozostawia molekularny odcisk w strukturze albuminy pacjentów z nowotworami głowy i szyi? Badanie pilotażowe ... 130

SUN NUCLEAR
A MIRION MEDICAL COMPANY



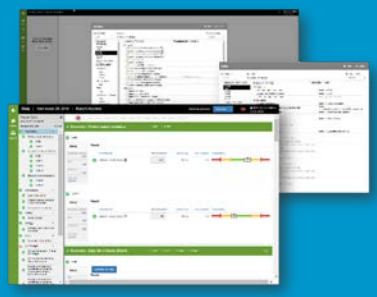
Daily QA™ 4 Pro
Daily Machine QA in a Single, Indexed Device



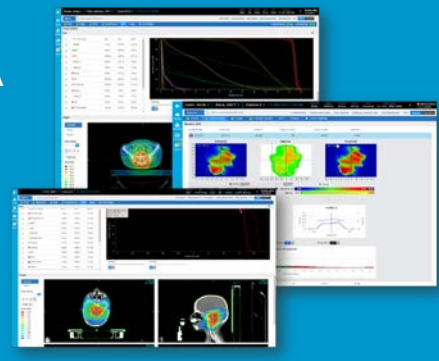
IC PROFILER™
Real-Time, Tankless Beam Scanning

SunCHECK®

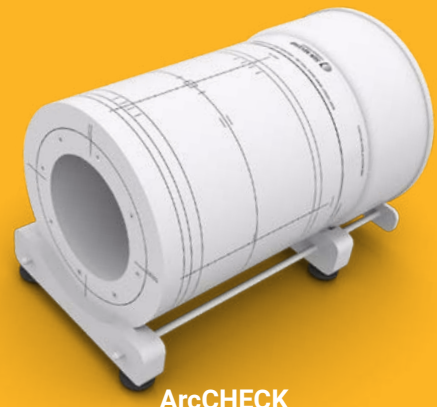
Plan Checks
Secondary Checks
Pre-Treatment QA
In-Vivo Monitoring



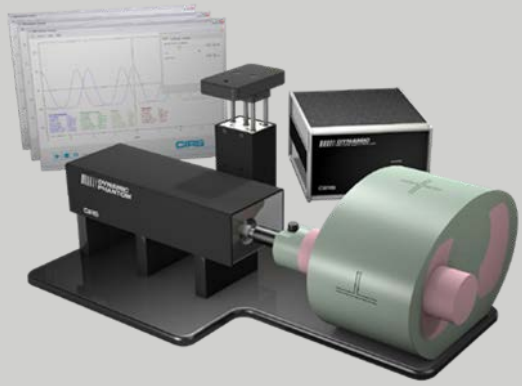
Independent Patient QA
&
Complete Machine QA
in One Streamlined
Application



Daily, Monthly and Annual QA
Direct Device Connectivity Imaging
MLC and VMAT QA



ArcCHECK
The Benchmark for 3D Pre-Treatment QA



Dynamic Thorax Phantom
Minimize Impact of Tumor Motion

www.sunnuclear.com
www.astraltd.pl

office@astraltd.pl
22 896 80 40

ASTRA Concept



STEEV Phantom
Stereotactic End-to-End Verification

SUN NUCLEAR
A MIRION MEDICAL COMPANY



AVa Phantom
SGRT Alignment Verification
(compatible with StereoPHAN™)

Stereotactic QA



StereoPHAN™
Comprehensive End-to-End



MultiMet-WL Cube



Ion Chamber Cube



CT/MRI Cube



Multi-Film and Single Film Cubes



SunSCAN™ 3D
Dosimetry Data Collection with SRS-Class Accuracy



SRS MapCHECK
SRS & SBRT QA, No Film
(compatible with StereoPHAN™)

www.sunnuclear.com
www.astraltd.pl

office@astraltd.pl
22 896 80 40

ASTRA Concept

NEW

PTW THE DOSIMETRY COMPANY

UNICHECK®

The Daily QA Solution

5 Years Warranty Included, Extendable up to 10 Years

Buy or Lease

Instant Readiness

Flexible Task Management



ptwunicheck.com

PROGRAM

Środa · 30.09.2026
Pre-meeting: Spotkanie Sekcji Diagnostyki Obrazowej

09:00–09:10

Rozpoczęcie spotkania: J. Kidoń-Szołtysek

09:10–09:30

Systemy automatycznej kontroli ekspozycji CARE Dose 4D / CARE kV i Auto Prescription w tomografii komputerowej pod kątem optymalizacji protokołów diagnostycznych. J. Kidoń-Szołtysek (GCM oraz ŚUM Katowice), A. Klimas, M. Dybek, L. Wojciuch, A. Kawa-Iwanicka, K. S. Gołba

09:30–09:50

Pozyskiwanie danych opisujących narażenie pacjenta z plików DICOM i RDSR z użyciem skryptów w języku Python. W. Skrzyński (NIO-PIB, Warszawa)

09:50–10:10

Wystąpienie sponsorskie Siemens Healthineers

10:10–10:30

Optymalizacja protokołów obrazowania CBCT w radioterapii adaptacyjnej. K. Polaczek-Grelik (Affidea NU-MED, Katowice)

10:30–10:50

Czy optymalizacja dawek zawsze oznacza jedynie ich obniżanie ? – lokalne poziomy referencyjne dawek promieniowania jonizującego jako jedno z narzędzi optymalizacji protokołów diagnostycznych w procedurach PET/CT. J. Gaweł (Affidea sp. z o.o. oraz Uniwersytet Warszawski, Warszawa)

10:50–11:10

przerwa kawowa

11:10–11:30

Monitorowanie i optymalizacja dawek w Zakładzie Diagnostyki Obrazowej i Radiologii Zabiegowej – teoria, praktyka, życie. Ł. Giźlar (iQrad Sp. z o.o.)

11:30–11:50

Wielokryterialna optymalizacja w radiologii w aspekcie działania zespołowego, R. Kowski (Centrum Medycznego Kształcenia Podyplomowego)

11:50–12:10

Optymalizacja w mammografii. M. Biegała (Uniwersytet Medyczny w Łodzi)

12:10–12:20

Analiza dawek promieniowania, w tym lokalnych poziomów referencyjnych opartych na BMI, w tomografii komputerowej serca u pacjentów dorosłych. Wpływ protokołów badań na dawkę dla pacjenta. J Kidoń-Szołtysek (GCM oraz ŚUM Katowice), L. Wojciuch, A. Ochała, M. Sosnowski, W. Wojakowski, B. Stasiów

12:20–12:40

Wpływ optymalizacji parametrów ekspozycji na dawkę – przypadki kliniczne. D. Bendzera (GL Center Sp. z o.o.), B. Englisz-Jurgielewicz, G. Liszka, M. Bogdańska

12:40–13:30

lunch

13:30–13:50

Analiza dawek pacjentów pediatrycznych w badaniach tomografii komputerowej głowy. B. Englisz-Jurgielewicz (GL Center Sp. z o.o.), K. Gruszczyńska, G. Liszka, M. Bogdańska, D. Bendzera, P. Pankowski

13:50–14:10

Optymalizacja w stomatologii. Sebastian Stambuła (Górnośląskie Centrum Medyczne, Katowice oraz Politechnika Częstochowska), O. Kukuła (Politechnika Częstochowska), Izabela Gorczewska (NIO-PIB, Gliwice)

14:10–14:20

Czynniki istotne dla optymalizacji dawki pacjenta z uwzględnieniem obszaru badania i rodzaju procedury radiologicznej. S. Rachwał, Merk

14:20–14:50

Dyskusja

14:50–15:10
przerwa kawowa

15:10–15:55
warsztaty (grupa I) – program do monitorowania dawek pacjentów (Teamplay, Siemens Healthineers) / dyskusja (optymalizacja procedur w radiologii)

16:00–16:45
warsztaty (grupa II) – program do monitorowania dawek pacjentów (Teamplay, Siemens Healthineers) / dyskusja (optymalizacja procedur w radiologii)

17:00–20:00
WALNY ZJAZD DELEGATÓW

Czwartek · 01.10.2026

Rejestracja uczestników (09.00 - 11.00)

Uroczyste otwarcie Kongresu (30 min; 11.00 - 11.30)

Wykład inauguracyjny (45 min; 11.30 - 12.15) „Onkologia XXI wieku: Sukcesy i rozczarowania" prof. Jacek Jassem

Przerwa kawowa (15 min; 12.15 - 12.30)

Sesja: Promieniowanie niejonizujące (105 min; 12.30 - 14.15) prowadzący: A. Cholewka

S1: 12.30 - 12.45
Wykorzystanie fNIRS jako techniki ewaluacyjnej w terapii medycznej. K. Jezierska, Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie

S2: 12.45 - 13.00
Obrazowanie termiczne w ocenie symetrii pracy mięśniowej podczas treningu progresywnego. T. Kasprzyk-Kucewicz, Uniwersytet Śląski, Katowice

S3: 13.00 - 13.15
Wykorzystanie HR NMR w ocenie identyfikacji biomarkerów indywidualnej skuteczności i toksyczności radiochemioterapii u chorych na HNSCC. Ł. Boguszewicz, PIB-NIO Gliwice

S4: 13.15 - 13.30
Zintegrowana ocena odpowiedzi biologicznej na mikro- i nanoplastiki oraz ich internalizacji w komórkach rozrodczych. J. Chwiej, AGH Kraków

S5: 13.30 - 13.45
Od widma do diagnozy: erytrocyty oraz ich błony jako nośniki informacji o progresji cukrzycy typu 2. N. Wilkosz, AGH Kraków

P1: 13.45 - 14.00
Strategie modyfikacji powierzchni nanocząstek tlenku żelaza w aspekcie zastosowań w obrazowaniu magnetycznorezonansowym. T. Kubiak, UAM Poznań

P2: 14.00 - 14.15
Koncepcyjna architektura sprzętowa wielokanałowej platformy RF do realizacji beamformingu w adaptacyjnej hipertermii śródtkankowej zintegrowanej z brachyterapią HDR. G. Zwierzchowski, WCO Poznań

Sesja: Diagnostyka obrazowa (110 min; 12.30 - 14.20) prowadząca: J. Kidoń-Szołtysek

S1: 12.30 - 12.50
Zastosowania robotyki w medycynie, ze szczególnym uwzględnieniem radiologii. Z. Nawrat. ŚUM, Katowice, FRK, Zabrze

S2: 12.50 - 13.05
Zastosowanie systemu robotycznego R-One Robotic System w interwencjach sercowo-naczyniowych. M. Bujak, GCM, ŚUM, Katowice

S3: 13.05 - 13.20
Czy naprawdę można pracować bez osłon indywidualnych? Zastosowanie innowacyjnego systemu antyradiacyjnego Rampart podczas zabiegów z zakresu kardiologii zabiegowej. J. Kidoń-Szołtysek, GCM oraz ŚUM Katowice

B1: 13.20 - 13.35
Wystąpienie sponsorskie Siemens Healthineers

B2: 13.35 - 13.50
Wystąpienie sponsorskie (Diagnomatic)

P1: 13.50 - 14.05
Porównanie technik tłumienia sygnału tkanki tłuszczu w rezonansie magnetycznym – skuteczność, jednorodność i odporność na artefakty. M. Garczarek, NIO-PIB Gliwice

P2: 14.05 - 14.20
Implementacja sekwencji EPI 3D z technikami przyspieszania akwizycji na systemie 1,5 T do szybkiego obrazowania mózgu w diagnostyce stwardnienia rozsianego u dzieci. K. Cepuch, Siemens Healthcare AG, Erlangen, Germany

Przerwa obiadowa (70 min; 14.20 - 15.30)

Sesja: FARu (120 min; 15.30 - 17.30)
prowadzący: B.Mielewska, J. Mieczkowski, J. Strankowska

S1: 15.30 - 15.50

Jak zwiększyć wykrywalność tętniaków wewnątrzczaszkowych z wykorzystaniem uczenia maszynowego? P. Jasik, PG Gdańsk

S2: 15.50 - 16.10

Od radioterapii do kosmosu – jak technologie medyczne wspierają eksplorację kosmosu, a medycyna kosmiczna zmienia opiekę nad pacjentem. J. Mieczkowski, GUMed, Gdańsk

S3: 16.10 - 16.30

Fizyka medyczna jako przestrzeń integracji środowisk akademickich, klinicznych, sektora ochrony zdrowia i otoczenia społeczno-gospodarczego. J. Strankowska, UG, Gdańsk

P1: 16.30 - 16.45

Niskodawkowa tomografia komputerowa (LDCT) w badaniach przesiewowych raka płuca – wyznaczenie lokalnych poziomów referencyjnych. P. Pięta, UCK Gdańsk

P2: 16.45 - 17.00

Structural MRI Data Quality: A Repeatability and Reproducibility Evaluation. A. Sabisz, GUMed, Gdańsk

Sesja: Projekty naukowe (120 min; 15.30 - 17.30)
prowadzący: A. Zawadzka, M. Peszyńska-Piorun

S1: 15.30 - 15.50

Metody wyznaczania dawki skumulowanej w procedurach ponownego napromieniania w Polsce – badanie ankietowe i wieloośrodkowa analiza przypadków klinicznych PTFM. M. Posiewnik, GUMed, Gdańsk

S2: 15.50 - 16.10

Aktualna praktyka kliniczna wykorzystania SGRT w polskich ośrodkach radioterapii jako podstawa do opracowania krajowych zaleceń PTFM i PTE. Projekt Sekcji Radioterapii PTFM. A. Skrobała, UMP oraz WCO, Poznań

B1: 16.10 - 16.25

Wystąpienie sponsorskie (Vision RT)

B2: 16.25 - 16.40

"Advanced Oncology Solutions: Accelerating access to optimized cancer care", Pavel Kazantsev, Wykład sponsorowany Varian, a Siemens Healthineers Company

S3: 16.40 - 17.00

Aspekty ochrony radiologicznej obrazowania CBCT w radioterapii – projekt CBCT-PL. P. Pankowski, UŁ, Łódź

S4: 17.00 - 17.20

Wieloośrodkowa ocena metod dozymetrycznych w radioterapii stereotaktycznej z wykorzystaniem fantomu RUBY. Projekt PTFM. J. Kamińska, GUMed, Gdańsk

Spotkanie towarzyskie

Piątek · 02.10.2026

Sesja plenarna (120 min; 08.30 - 10.30) prowadzący: J. Kamińska

Wystąpienie Konsultanta Krajowego w dz. fizyki medycznej. Prof. Paweł Kukołowicz

Wystąpienie Konsultanta Krajowego w dz. radioterapii. Prof. Krzysztof Składowski

Wystąpienie Konsultanta Krajowego w dz. medycyny nuklearnej. Prof. Leszek Królicki

Wystąpienie Konsultanta Krajowego w dz. radiologii i diagnostyki obrazowej. Dr Tomasz Gorycki (KW Pomorskie) w imieniu Prof. Edyty Szurowskiej

Przerwa kawowa (15 min; 10.30 - 10.45)

Sesja: Medycyna Nuklearna (135 min; 10.45 - 13.00)
prowadzący: K. Matuszewski

S1: 10.45 - 11.15

Nowelizacja rozporządzenia dot. testów eksploatacyjnych. Część: medycyna nuklearna. Sprawozdanie K. Matuszewski, WCO, Poznań

S2: 11.15 - 11.45

OpenDose – dozymetria open source w medycynie nuklearnej. D. Borys, NIO-PIB, Gliwice

Sesja: Dozymetria w radioterapii (135 min; 10.45 - 13.00)
prowadzący: J. Winiecki, M. Kruszyna-Mochalska

S1: 10.45 - 11.10

Testy kontroli jakości dla technik stereotaktycznych realizowanych na akceleratorach medycznych z ramieniem C. Zalecenia PTFM. A. Walewska, NIO-PIB, Warszawa

S2: 11.10 - 11.30

Nowelizacja rozporządzenia dotyczącego testów eksploatacyjnych. Część: radioterapia. Sprawozdanie. D. Kabat, NIO-PIB, Kraków

B1: 11.30 - 11.45

Wystąpienie sponsorskie (Onkosolutions)

B1: 11.45 - 12.00
Skok generacyjny w technologii PET, A. Bolanowski, United Imaging

P1: 12.00 - 12.15
Wpływ schematu obliczeń Monte Carlo na wyniki indywidualnej dozymetrii w terapii radiofarmaceutykami. Z. Pietrucha, PW Warszawa

P2: 12.15 - 12.30
Korekcja ruchu pacjenta w badaniu 18F-FDG PET/CT u dzieci i młodych dorosłych z lekooporną padaczką. J. Baran, Siemens Healthcare

P3: 12.30 - 12.45
Wpływ metody podawania ^{177}Lu-DOTATATE na narażenie dłoni personelu medycyny nuklearnej – wyniki z dwóch polskich ośrodków na tle badań europejskich. Ł. Albiniak, UŁ Łódź

P4: 12.45 - 13.00
Wyznaczanie dawki terapeutycznej 131I w leczeniu nadczynności tarczycy na podstawie gromadzenia 99mTc -nadtechnecjanu, przy użyciu gammakamery wyposażonej w detektory typu CZT. M. Binek, BCO Bielsko-Biała

B2: 11.45 - 12.00
Czy workflow ma znaczenie? D. Radomiak, BRAINLAB

P1: 12.00 - 12.15
PSQA z wykorzystaniem EPID i log-file. M. Kruszyna-Mochalska, UMP i WCO, Poznań

P2: 12.15 - 12.30
Pierwsze doświadczenia z systemem PntDos™ do dozymetrii in vivo. P. Wesołowska, NIO-PIB, Warszawa

P3: 12.30 - 12.45
Bezpośrednia charakterystyka widma energetycznego wiązek elektronowych akceleratora śródoperacyjnego AQURE oraz wiązek UHDR. A. Lenartowicz-Gasik, NCBJ Świerk

P4: 12.45 - 13.00
Od surowych sygnałów detektora do krzywych o znaczeniu dozymetrycznym: interpretacja danych Dose3D-Future z wykorzystaniem metody Monte Carlo na platformie G4RT. J. Hajduga, AGH Kraków

Przerwa kawowa (15 min; 13.00 - 13.15)

Sesja: Rentgenodiagnostyka i radiologia zabiegowa (135 min; 13.15 - 15.30) prowadzące: K. Kisielewicz, A. Sabisz

S1: 13.15 - 13.45
Nowelizacja rozporządzenia dot. testów eksploatacyjnych. Część: radiologia. Sprawozdanie. M. Biegała, UM, Łódź

S2: 13.45 - 14.15
Jak i po co weryfikować wskazania DAP? W. Skrzyński, NIO-PIB, Warszawa

B1: 14.15 - 14.30
Nowe spojrzenie na TK serca: gdy rozdzielczość czasowa spotyka się z obrazowaniem całego serca. M. Mikosz, United Imaging.

B2: 14.30 - 14.45
Wystąpienie sponsorskie (Synektik)

P1: 14.45 - 15.00
Mniejsze dawki, więcej szczegółów: photon-counting CT w obrazowaniu kości skroniowych i zatok. J. Wójcik, Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Warszawa

P2: 15.00 - 15.15
Wykorzystanie prototypowej sekwencji MC- GRASE w celu ilościowej oceny mieliny u dzieci – doniesienie wstępne. S. Chełstowska, Instytut „Pomnik – Centrum Zdrowia Dziecka" Warszawa

P3: 15.15 - 15.30
Mapowanie PSD w czasie rzeczywistym w zabiegach kardiologicznych. J. Kidoń-Szołtysek, GCM oraz ŚUM Katowice

Sesja: Radioterapia (135 min; 13.15 - 15.30) prowadzący: J. Kamińska, A. Skrobała

S1: 13.15 - 13.40
Radioterapia adaptacyjna – CHALLENGE accepted. M. Łukowiak, ZCO, Szczecin

S2: 13.40 - 14.00
Mammae mia! A. Kawa-Iwanicka, Affidea NU-MED., Katowice

B1: 14.00 - 14.15
Precyzja i adaptacja w RT – unikalne możliwości systemów Elekta Unity MR Linac i Elekta Evo CT Linac. I. Pietrzyk, Elekta

B2: 14.15 - 14.30
Najnowsze rozwiązania w radioterapii, Krzysztof Przybylski,
Wykład sponsorowany Varian, a Siemens Healthineers Company

P1: 14.30 - 14.45
Zastosowania ciągłego dodatniego ciśnienia w drogach oddechowych podczas radioterapii chorych na raka lewej piersi niekwalifikujących się do techniki DIBH – wstępna analiza dozymetryczna. K. Deng, NIO-PIB Warszawa

P2: 14.45 - 15.00
Interwencyjna adaptacyjna radioterapia zmian przerzutowych FAST-METS z wykorzystaniem systemu Ethos. A. Jankowska, NIO-PIB Warszawa

P3: 15.00 - 15.15
Wyznaczenie i analiza krzywych HU dla tomografu NAEOTOM Alpha na potrzeby systemu planowania radioterapii. M. Narkowicz, UCK Gdańsk

B3: 15.15 - 15.30
Wystąpienie sponsorskie (TMS)

Przerwa obiadowa (45 min; 15.30 - 16.15)

SESJA PLAKATOWA USTNA
(65 min; 15.45 - 16.50 - start w trakcie sesji obiadowej)
prowadzący: A. Klimas, M. Posiewnik

PD01: 15.45 - 15.53

Czy fMRU może zastąpić scyntygrafię MAG3? Wstępna ilościowa ocena czynności nerek (vpDRF, RTT) u dzieci z megaureterem. M. Grzywińska, UCK Gdańsk

PD02: 15.53 - 16.01

Projekt fantomu do weryfikacji geometrii systemu planowania brachyterapii prostaty. A. Lewandowska, Affidea Poznań

PD03: 16.01 - 16.09

Wykorzystanie spektroskopii i obrazowania wibracyjnego w badaniach nad prewencją raka żołądka. K.W. Łakomy, AGH Kraków

PD04: 16.09 - 16.17

Wpływ wybranych parametrów odczytu detektorów termoluminescencyjnych na niepewność wyznaczania dawki promieniowania jonizującego. M. Karczmarczyk, AGH Kraków

PD05: 16.17 - 16.25

Radiacyjna odpowiedź adaptacyjna – mechanizm ochronny czy czynnik promieniowrażliwości komórek nowotworu gruczołu krokowego. B. Kociński, UW Warszawa

PD06: 16.25 - 16.33

Integracja zaawansowanych technik radioterapii poprzez standaryzowane ścieżki leczenia ARIA (ARIA Care Paths). J. Litoborska, WCO Poznań

PD07: 16.33 - 16.41

Czy sposób definiowania funkcji celu na etapie planowania leczenia wpływa na jakość realizowanej terapii w każdej z poszczególnych frakcji? M. Łukowiak, ZCO Szczecin

PD08: 16.41 - 16.50

Kontrola jakości stereotaktycznych planów leczenia z wykorzystaniem detektorów alaninowych w systemie CyberKnife. A. Wojtalik, WCO Poznań

Przerwa kawowa (5 min; 16.50 - 16.55)

DEBATA: Czy AI zastąpi lekarza i fizyka? (50 min; 16.55 - 17.45), prowadzący: G. Zwierzchowski

D1: 16.55 - 17.15

TAK. Janusz Winiecki

D2: 17.15 - 17.35

NIE. Rafał Dziadziuszko

D3: 17.35 - 17.45

Podsumowanie

Bankiet (na miejscu)

Sobota · 03.10.2026

Sesja: Protony, SGRT (120 min; 8.30 - 10.30)
prowadzący: R. Kopeć, J. Kamińska

S1: 8.30 - 8.55

Radioterapia protonowa ultrawysoką mocą dawki (FLASH). D. Krzepek, CCB IFJ, Kraków

S2: 8.55 - 9.20

Analiza 4D odporności planu leczenia w terapii protonowej. A. Wochnik, CCB IFJ, Kraków

Sesja: Spotkanie Sekcji Brachyterapii
(120 min; 8.30 - 10.30), prowadzący: M. Dymnicka, G. Zwierzchowski

S1: 8.30 - 8.55

Podsumowanie dziesięcioletniej działalności Sekcji Brachyterapii PTFM.
M. Dymnicka, WSW, Gorzów Wlkp.

S2: 8.55 - 9.20

Który parametr DVH powinien definiować pokrycie GTV w jednofrakcyjnej HDR-BT wątroby? Analiza na poziomie pojedynczej zmiany. M. Peszyńska-Piorun, WWCOiT Łódź

S3: 9.20 - 9.45
Radioterapia protonowa u pacjentów pediatrycznych. K. Kisielewicz, NIO-PIB, Kraków

P1: 9.45 - 10.00
Radioterapia protonowa pacjenta pediatrycznego z zastosowaniem metody fiksacji gałki ocznej na stanowisku gantry – opis przypadku. G. Foltyńska, IFJ Kraków

P2: 10.00 - 10.15
Powtarzalność i dokładność pozycjonowania pacjentek leczonych techniką DIBH z zastosowaniem systemów SGRT. A. Borkowska, AGH Kraków

P3: 10.15 - 10.30
Kliniczny przypadek napromieniania pacjentki w ciąży radioterapią protonową – procedura szacowania dawki płodowej. N. Mojżeszek, IFJ Kraków

S3: 9.20 - 9.45
Analiza dozymetryczna migracji implantów stałych w przebiegu brachyterapii uLDR. M. Rozwód, WSW, Gorzów Wlkp.

P1: 9.45 - 10.00
Dynamiczne środowisko zintegrowanego planowania adaptacyjnej termobrachyterapii z wykorzystaniem sprzężonych modeli obliczeniowych. G. Zwierzchowski, WCO Poznań

P2: 10.00 - 10.15
Pilotażowy audyt dozymetryczny dla brachyterapii HDR w Polsce przeprowadzony zgodnie z metodyką IAEA. K. Chełmiński, NIO-PIB Warszawa

P3: 10.15 - 10.30
Analiza wpływu różnic aktywności źródeł I-125 w zakresie tolerancji producenta na rozkład dawki w brachyterapii uLDR raka gruczołu krokowego. G. Bielęda, WCO Poznań

Przerwa kawowa (15 min; 10.30 - 10.45)

Sesja: Ochrona Radiologiczna (90 min; 10.45 - 12.15) prowadzący: A. Jung, P. Tulik

S1: 10.45 - 11.00
Narażenie wewnętrzne na promieniowanie jonizujące – monitoring biologiczny i ocena dawek. J. Ośko NCBJ, Świerk

P1: 11.00 - 11.15
Projekt RetroGlass: bazy danych dla dozymetrii retrospektywnej w oparciu o właściwości szkieł ekranów smartfonów. B. Ciesielski, GUMed, Gdańsk

P2: 11.15 - 11.30
Narażenie społeczeństwa na promieniowanie jonizujące X po 131 latach od odkrycia W. K. Roentgena. M. Budzanowski, IFJ Kraków

P3: 11.30 - 11.45
Analiza komponentów kinetycznych OSL kamieni szlachetnych stosowanych w biżuterii w kontekście stabilności sygnału i zastosowań w dozymetrii retrospektywnej. D. Kulig, AGH Kraków

P4: 11.45 - 12.00
Porównanie odpowiedzi dozymetrycznej szkieł ekranów smartfonów oraz detektorów MCP-N i MTS-N z wykorzystaniem procedur radioterapeutycznych. A. Jung, AGH Kraków

P5: 12.00 - 12.15
System ochrony radiologicznej w ośrodku terapii protonowej na przykładzie Centrum Cyklotronowego Bronowice. R. Kopeć, IFJ PAN

Sesja: Bezpieczeństwo vs wolność (90 min; 10.45 - 12.15) prowadzący: P. Kukołowicz, G. Zwierzchowski

S1: 10.45 - 11.00
Od pomysłu do wdrożenia produktu medycznego do szpitala. A. Misiarz, NCBJ, Świerk

S2: 11.00 - 11.15
Od 1 mm do 15% – jak gradient dawki redefiniuje dokładność w radioterapii. M. Raczkowski, DCOTiH, Wrocław

S3: 11.15 - 11.30
Ewolucja źródeł niepewności w radioterapii. Czy zmienia się największe wyzwanie fizyki medycznej? J. Pleśniak, ZCO, Szczecin

S4: 11.30 - 11.50
Audyty kliniczne – podsumowanie ostatnich lat. M. Janiszewska, DCOPiH, Wrocław

S5: 11.50 - 12.10
Raport IAEA nr 50: praktyczny model bezpiecznego wdrażania AI w obrazowaniu medycznym i radioterapii. M. Peszyńska, WWCOiT Kopernik, Łódź

Przerwa kawowa (10 min; 12.15 - 12.30)

PTFM... pomysł na następne cztery lata (30 min; 12.30 - 13.00)

Prezes PTFM na kadencję 2026 - 2030

ZAKOŃCZENIE KONGRESU (Posiłek „Take away")

e-Postery

Promieniowanie Niejonizujące

1 Ilościowa segmentacja sygnału fluorescencyjnego ROS w obrazach mikroskopowych komórek macicy eksponowanych na mikroplastiki. Z. Bryłowska, AGH Kraków

2 Wpływ nasyconych i nienasyconych kwasów tłuszczowych na właściwości wiążące albuminy surowicy ludzkiej w modelu in vitro hiperglikemii – studia spektroskopowe. A. Szkudlarek, ŚUM Katowice

3 Ocena wpływu właściwości fizykochemicznych na internalizację mikro- i nanoplastików przy pomocy mikrospektroskopii Ramanowskiej. K. Świzdor, AGH Kraków

4 Wpływ endogennych kwasów tłuszczowych na wiązanie losartanu do albuminy wyizolowanej z surowicy pacjentów z marskością wątroby – badanie pilotażowe. A. Szkudlarek, ŚUM Katowice

5 Zastosowanie termografii dynamicznej w diagnostyce skrzywień kręgosłupa u dzieci i młodzieży. A. Mrowiec, UŚ Katowice

Diagnostyka Obrazowa i Medycyna Nuklearna

6 Codzienne dopuszczenie tomografu komputerowego do użytkowania klinicznego na podstawie kontroli jakości, w tym zgodnie z wymaganiem producenta. A. Kuchcińska, UCK WUM Warszawa

7 Czy wartości szarości w stomatologicznym CBCT są porównywalne między aparatami? Badanie fantomowe z odniesieniem do klasycznej tomografii komputerowej. A. Szkudlarek, ŚUM Katowice

8 Analiza dawek w ogólnodiagnostycznych procedurach radiologicznych – co możemy zrobić, kiedy w nagłówkach plików DICOM brakuje informacji o dawce? S. Stambuła, Katowickie Centrum Onkologii Katowice

9 Mierniki DAP/KAP – czy możemy zrobić więcej w tym temacie w Polsce? S. Stambuła, Katowickie Centrum Onkologii Katowice

10 Badanie zależności kątowej luminancji monitorów ciekłokrystalicznych (LCD). B. Fijałka, NIO-PIB Warszawa

11 Obiektywizacja oceny rozdzielczości przestrzennej w ultrasonografii. W. Skrzyński, NIO-PIB Warszawa

12 Widmo pod wpływem – suplementy diety a interpretacja 1H-MRS mózgu. P. Mazgaj, NIO-PIB Gliwice

13 Od kosteczek słuchowych do implantów: zastosowania photon-counting CT w obrazowaniu kości skroniowej. J. Wójcik, Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Warszawa

14 Analiza porównawcza autorskiej sieci konwolucyjnej (MammoNet) z modelem uczenia transferowego (ResNet-18) w klasyfikacji obrazów mammograficznych z zastosowaniem technik Explainable AI. M. Janiszewski, UG Gdańsk

15 Generowanie wydruków 3D płodów na podstawie modeli uzyskanych z sekwencji obrazów MRI 2D. J. Gwizdała, UCK Gdańsk

16 Skuteczność systemów automatycznej kontroli ekspozycji (AEC) w mammografii: wpływ lokalnych zmian gęstości oraz obecności implantów piersi. A. Woźnica, NIO-PIB Gliwice

17 Porównanie wpływu fizycznych i wirtualnych kratek przeciwrozproszeniowych na jakość obrazu i średnią dawkę gruczołową (MGD) w mammografii cyfrowej. A Woźnica, NIO-PIB Gliwice

18 Whole-Body MRI – znaczenie, możliwości i wyzwania we współczesnej diagnostyce obrazowej. M. Garczarek, NIO-PIB Gliwice

19 Biopsja prostaty pod kontrolą MR – praktyczne aspekty, wyzwania i wnioski po 7 latach doświadczeń. M. Garczarek, NIO-PIB Gliwice

20 Jak fizyk medyczny może wdrożyć i utrzymać system codziennych testów tomografu komputerowego wg zaleceń producenta przy udziale dużego zespołu elektroradiologów? A. Kuchcińska, UCK WUM Warszawa

21 Metody rezonansu magnetycznego w ilościowej ocenie stłuszczenia wątroby. B. Brzeska, GUMed, Gdańsk

22 Zaawansowane techniki MRI w obrazowaniu nerwów czaszkowych. P. Mazgaj, NIO-PIB Gliwice

23 Rezonans magnetyczny serca u pacjentów z wszczepialnymi układami stymulującymi – wyzwania i praktyczne rozwiązania. A. Glińska, GUMed, Gdańsk

24 Minimalny protokół kontroli jakości dla narzędzi sztucznej inteligencji w radiologii. Propozycja możliwa do wdrożenia w warunkach krajowych. M. Rygusik, GUMed, Gdańsk

25 Badanie MRI zatok przynosowych o rozdzielczości 0,31 mm sekwencją ultrakrótkiego czasu echa: charakterystyka obrazowania w badaniu proof-of-concept. Phillip Lipowski, UCK Gdańsk

26 Walidacja wykorzystania skanera PET/CT jako metody analizy chromatografii cienkowarstwowej w kontroli jakości radiofarmaceutyków. K. Cichoń, ZUT Szczecin

Radioterapia i Brachyterapia

27 Ocena jakości fuzji sztywnej obrazów medycznych w radioterapii zgodnie z zaleceniami raportu AAPM TG-132 z wykorzystaniem systemu MIM (MIM ProtégéAI). A. Buszko, NIO-PIB Warszawa

28 Od próbki krwi do widma spektroskopowego: czy chemioradioterapia pozostawia molekularny odcisk w strukturze albuminy pacjentów z nowotworami głowy i szyi? Badanie pilotażowe. A. Szkudlarek, ŚUM Katowice

29 Ocena spójności i czułości testów Machine Performance Check (MPC) na tle tygodniowych pomiarów dozymetrycznych akceleratorów VitalBeam i TrueBeam. M. Szymański, Mazowiecki Szpital Onkologiczny Wieliszew

30 Porównanie manualnych obliczeń EQD_2 i biologicznej akumulacji dawki w RayStation w planowaniu reirradiacji po 14 latach – opis przypadku. D. Oborska-Kumaszyńska, Sunrise Centre, Royal Cornwall Hospital NHS Trust

31 Ocena nowego narzędzia do pomiaru długości igieł w brachyterapii HDR prostaty. T. Kostecki, Diagnomatic

32 AAA vs Acuros – wpływ wyboru algorytmu obliczeniowego na rozkład dawki w radioterapii nowotworów piersi. S. Bazak, WWCOiT Łódź

33 Dokładność obliczania dawki na obrazach CBCT z populacyjnymi i fantomowymi krzywymi kalibracyjnymi – badanie wstępne na fantomie w perspektywie zastosowania CBCT w radioterapii adaptacyjnej. U. Sobocka-Kurdyk, WCO filia Kalisz

34 Ocena jakości weryfikacji VMAT z wykorzystaniem systemu EpiBeam (Dosisoft). A. Pawłowska, ŚCO Kielce

35 Między komórkami o promieniowaniu – wpływ egzosomów na efekt sąsiedztwa i promieniowrażliwość komórek nowotworowych gruczołu krokowego. B. Pszczółkowska-Kępa, UW Warszawa

36 Międzyfrakcyjna zmienność objętości obszarów tarczowych u pacjentek ginekologicznych leczonych z zastosowaniem radioterapii adaptacyjnej online. O. Chmielewska, NIO-PIB Warszawa

37 Radioterapia adaptacyjna online nowotworów głowy i szyi w systemie Ethos: pilotażowe wdrożenie i potencjalne korzyści dozymetryczne. Ł. Gruda, NIO-PIB Warszawa

38 Charakterystyka dozymetryczna materiałów stosowanych w druku 3D indywidualnych bolusów: od sztywnego PLA do elastycznego TPU. A. Bochyńska, NIO-PIB Warszawa

Dozymetria i Ochrona radiologiczna

39 Kliniczne wdrożenie fantomu RUBY do dozymetrycznej weryfikacji planów leczenia w radioterapii oraz kontroli systemów obrazowania akceleratorów liniowych. D. Roczkowski, Affidea Zamość

40 Wzorce odniesienia do wyznaczania objętości czynnej komór jonizacyjnych z użyciem rentgenowskiej tomografii przemysłowej. P. Tulik, PW Warszawa

41 Wysokoczęstotliwościowa analiza przebiegów dozymetrycznych promieniowania rozproszonego i wtórnego podczas pracy akceleratora medycznego. M. Kuć, NCBJ Świerk

42 Manual czy (semi)automat? Porównanie metod analizy testów jakości obrazowania kV CBCT. Ł. Kapek, NIO-PIB Gliwice

43 Zabezpieczenie źródeł promieniotwórczych w działalności medycznej – aspekty prawne, poziomy zagrożeń oraz metody ochrony. M. Rowińska, UCK Gdańsk

44 Narażenie społeczeństwa na promieniowanie jonizujące X po 131 latach od odkrycia W. K. Roentgena. M. Budzanowska, IFJ Kraków

45 Implementacja testu Accuray E2E Synchrony QA aparatu CyberKnife na platformę Radixact. B. Niewiadomska, NIO-PIB Gliwice

46 Porównanie trzech metod weryfikacji planów SBRT realizowanych na MR-Linac'u Unity - doświadczenia własne. A. Orzechowska, CO Bydgoszcz

47 Mechaniczne izocentrum akceleratora – fundament precyzji radioterapii precyzyjnej małych guzów. M. Tarchalski, NIO-PIB Warszawa

48 Krajowe audyty dozymetryczne TLD w Polsce w latach 2025–2026 – ocena jakości radioterapii zgodnie z metodyką IAEA. W. Ślusarczyk-Kacprzyk, NIO-PIB Warszawa

49 WZORZEC PIERWOTNY DAWKI POCHŁONIĘTEJ W WODZIE DLA WIĄZEK FOTONÓW 6, 10 I 15 MV – WALIDACJA METROLOGICZNA. W. Niedziałek, GUM Warszawa

50 Dozymetria tranzytowa in vivo z wykorzystaniem systemu EPIgray (Elekta) – analiza dawek w punktach w warunkach fantomowych. O. Nowotka, UAM Poznań, Affidea Poznań

51 Projekt, wykonanie i walidacja wkładki dozymetrycznej do fantomu Dynamic Thorax Phantom, przeznaczonej do weryfikacji stereotaktycznych planów leczenia z wykorzystaniem detektorów MCPN. K. Matusiak, AGH Kraków

52 Dozymetria żelowa 3D w weryfikacji SPL dla implantów o wysokim Zeff i walidacji izocentrum akceleratorów Elekta. O. Madetko, Akademia Tarnowska i Szp. Woj. SPZOZ Tarnów

53 Ocena występowania artefaktów pierścieniowych w obrazowaniu kV-CBCT (Ethos HyperSight) na podstawie analizy obrazów pacjentów oraz testów fantomowych. B. Niewiadomska, NIO-PIB Gliwice

SPONSOR ZŁOTY

SIEMENS Healthineers

Elekta

ASTRA Concept Sp. z o.o.

Health Technologies Sp. z o.o.

visionrt

SPONSOR SREBRNY

TMS

CANBERRA PACKARD

BRAINLAB

radpro

2QUART MEDICAL
Advancing Medical opportunities

ONCOSOLUTIONS

SPONSOR BRĄZOWY

CONSULTRONIX®

DIAGNOMATIC

Synektik

SolveMedical

medical RADIOPHARMA

PHILIPS

GL CENTER
clever solution

vapos
innovative solutions

POZOSTALI SPONSORZY

ANALIZY TESTY SZKOLENIA Sp. z o.o.

stanley

irad

teMED
technologie medyczne

MEDSERVICE®

RA
Radiotherapy Accessories Sp. z o.o.

WYDARZENIE POD PATRONATEM

PATRONAT HONOROWY
Prezydent Miasta Gdańska

PATRONAT HONOROWY
REKTOR
GDAŃSKIEGO UNIWERSYTETU MEDYCZNEGO
prof. dr hab. Marcin Gruchała

Fahrenheit Universities

Polska Liga Walki z Rakiem

UCK Uniwersyteckie Centrum Kliniczne

KRAJOWE CENTRUM OCHRONY RADIOLOGICZNEJ W OCHRONIE ZDROWIA

FIZYK INŻYNIER MEDYCZNY

PULS Medycyny
pulsmedycyny.pl

Radio Gdańsk

ŚRODA: SPOTKANIE SEKCJI DIAGNOSTYKI OBRAZOWEJ

Wpływ optymalizacji parametrów ekspozycji na dawkę – przypadki kliniczne

Daniel Bendzera[1], Beata Englisz-Jurgielewicz[1], Monika Bogdańska[1], Grzegorz Liszka[1]

[1] GL Center Sp. z o. o.

Optymalizacja parametrów ekspozycji stanowi jeden z kluczowych elementów ochrony radiologicznej pacjentów, umożliwiając ograniczenie dawki promieniowania przy zachowaniu odpowiedniej jakości obrazów diagnostycznych. Na podstawie wybranych przypadków klinicznych omówiony zostanie wpływ modyfikacji parametrów badań na poziom narażenia pacjentów. Szczególną uwagę poświęcono roli fizyka medycznego w analizie dawek oraz wdrażaniu działań optymalizacyjnych zgodnych z zasadą ALARA. Przedstawione przykłady wskazują, że właściwie dobrane parametry ekspozycji zwiększają bezpieczeństwo pacjentów bez pogorszenia wartości diagnostycznej wykonywanych badań.

Prezentowane dane kliniczne zostały zebrane na podstawie pracy fizyków medycznych współpracujących z podmiotami klinicznymi na terenie całego kraju, będących członkami naszego zespołu.

Fizyk medyczny, tomografia komputerowa, rentgenodiagnostyka, radiologia zabiegowa, optymalizacja dawek, bezpieczeństwo radiologiczne, analiza przypadków klinicznych, poziomy referencyjne DRL

Optymalizacja w mammografii

Michał Biegała[1]

[1] Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Zakład Medycznych Technik Obrazowania

Optymalizacja w mammografii obejmuje cały łańcuch obrazowania, a jej celem jest zapewnienie odpowiedniej jakości diagnostycznej przy możliwie najmniejszym narażeniu pacjentki. Wpływają na nią sposób wykonania badania, parametry techniczne oraz właściwości systemu obrazowania, dlatego wymaga kompleksowej oceny wszystkich tych elementów.

Jednym z podstawowych elementów optymalizacji jest prawidłowa technika badania. Pozycjonowanie warunkuje objęcie obrazem wymaganej tkanki piersi i właściwą pracę automatyki ekspozycji (AEC). Kompresja zmniejsza grubość piersi i ilość promieniowania rozproszonego, ogranicza nieostrość oraz umożliwia redukcję ekspozycji. Błędy pomiaru grubości skompresowanej piersi mogą wpływać zarówno na działanie AEC, jak i ocenę dozymetryczną.

Dobór kV, mAs oraz kombinacji anoda/filtr determinuje widmo promieniowania i kompromis pomiędzy kontrastem, szumem i dawką. AEC dostosowuje parametry ekspozycji do grubości i składu piersi w celu utrzymania wymaganej jakości obrazu bez nieuzasadnionego zwiększania dawki. Istotne są również właściwości detektora, dlatego parametry optymalne dla jednego systemu nie muszą być właściwe dla innego. Program kontroli jakości powinien monitorować m.in. AEC, kompresję, jakość wiązki, detektor, artefakty, dawkę i jakość obrazu. Szczególnego podejścia wymagają piersi gęste i piersi z implantami, dla których warunki obrazowania mogą odbiegać od standardowych.

Podstawą ilościowej optymalizacji mammografii jest jednoczesna ocena jakości obrazu i dawki. Standardową wielkością dozymetryczną jest średnia dawka gruczołowa (AGD), określająca narażenie tkanki gruczołowej. AGD wyznacza się pośrednio na podstawie kermy w powietrzu oraz współczynników uwzględniających m.in. grubość i gruczołowość piersi oraz widmo promieniowania.

Jednym z podstawowych narzędzi obiektywnej oceny jakości obrazu jest fantom CDMAM, umożliwiający określenie progowej widoczności obiektów o małym kontraście. Badanie w standaryzowanych warunkach, na obrazach „for processing" i z wykorzystaniem analizy automatycznej pozwala ocenić układ akwizycji przy ograniczeniu wpływu przetwarzania obrazu i zmienności obserwatora.

Wynik CDMAM należy interpretować w odniesieniu do dawki, przy której został uzyskany. Zwiększenie ekspozycji może poprawić widoczność szczegółów o małym kontraście, ale prowadzi również do wzrostu AGD. Dlatego ani bardzo dobry wynik CDMAM uzyskany przy wysokiej AGD, ani niska dawka związana z pogorszeniem jakości obrazu nie świadczą o prawidłowej optymalizacji. Kluczowa jest relacja pomiędzy osiąganą jakością obrazu a narażeniem pacjentki.

Relacja ta może różnić się pomiędzy systemami mammograficznymi. Producenci stosują odmienne technologie detektorów, strategie doboru parametrów ekspozycji i algorytmy AEC, dlatego wymagany poziom jakości obrazu może być osiągany przy różnych wartościach AGD. Dwa mammografy spełniające kryteria akceptowalności mogą więc realizować odmienny kompromis pomiędzy jakością obrazu a dawką.

Ocena systemu wyłącznie na podstawie AGD lub CDMAM może zatem prowadzić do niewłaściwych wniosków. Spełnienie kryteriów dla obu parametrów jest konieczne, ale nie oznacza pełnej optymalizacji. Jej istotą jest uzyskanie wymaganej jakości

obrazu przy możliwie najmniejszym narażeniu pacjentki. Łączna analiza CDMAM i AGD pozwala ocenić sposób, w jaki system realizuje tę równowagę.

Uzupełnieniem tej oceny jest CNR, szczególnie w analizie AEC dla różnych grubości PMMA. CNR pozwala ocenić utrzymanie jakości obrazu wraz ze wzrostem grubości obiektu, nie zastępuje jednak CDMAM. CDMAM i AGD stanowią zatem podstawową parę parametrów oceny optymalizacji, natomiast CNR uzupełnia ją o ocenę skuteczności kompensacji zmian grubości przez AEC.

Analiza dawek pacjentów pediatrycznych w badaniach tomografii komputerowej głowy

Beata Englisz-Jurgielewicz[1], Monika Bogdańska[1], Daniel Bendzera[1], Grzegorz Liszka[1], Katarzyna Gruszczyńska[2], Piotr Pankowski[3]

[1] GL Center Sp. z o.o.;
[2] Górnośląskie Centrum Zdrowia Dziecka im. św. Jana Pawła II Samodzielny Publiczny Szpital Kliniczny nr 6 Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach;
[3] Uniwersytet Łódzki

Tomografia komputerowa (TK) głowy stanowi jedno z najczęściej wykonywanych badań obrazowych zarówno u pacjentów dorosłych, jak i pediatrycznych. W diagnostyce dzieci badanie to ma szczególne znaczenie w przypadkach urazów, podejrzenia zmian neurologicznych, wodogłowia czy stanów nagłych wymagających szybkiej diagnostyki.

W niniejszej pracy przedstawione zostaną lokalne poziomy referencyjne (wartość DLP, CTDIvol) dla tomografii komputerowej głowy pacjentów pediatrycznych oraz zestawienie wyników z wytycznymi europejskimi.

Analiza obejmuje pacjentów pediatrycznych poniżej 18. roku życia z jednego ośrodka klinicznego wyposażonego w tomograf komputerowy. Omówione wyniki dotyczą badań z okresu styczeń 2025–lipiec 2026 r.

Przedstawione dane kliniczne zostały zebrane przy pomocy systemu monitorowania dawek Idose we współpracy z fizykami medycznymi.

Wnioski i znaczenie praktyczne: Propozycja wyznaczenia krajowych wartości referencyjnych dla pacjentów pediatrycznych w tomografii komputerowej.

Lokalne poziomy referencyjne są niezbędnym narzędziem do rzetelnego monitorowania dawek w codziennej praktyce klinicznej, jak również w okresowym przeprowadzaniu audytów, które mogą posłużyć do optymalizacji procedur radiologicznych.

Fizyk medyczny, tomografia komputerowa, rentgenodiagnostyka, radiologia zabiegowa, optymalizacja dawek, bezpieczeństwo radiologiczne, analiza przypadków klinicznych, poziomy referencyjne DRL.

Czy optymalizacja dawek zawsze oznacza jedynie ich obniżanie? – lokalne poziomy referencyjne dawek promieniowania jonizującego jako jedno z narzędzi optymalizacji protokołów diagnostycznych w procedurach PET/CT

Joanna Gaweł[1]

[1] Affidea sp. z o.o. Pracownia Tomografii Emisyjnej;
[2] Wydział Chemii, Uniwersytet Warszawski

Cel: Badania PET/CT stają się w ostatnich latach złotym standardem w wielu dziedzinach medycyny, takich jak onkologia, kardiologia czy neurologia, powodując, że ilość tego typu badań diagnostycznych wzrasta, a pacjenci są narażani na większe dawki promieniowania jonizującego pochodzącego z tego typu obrazowania. Dlatego tak ważna jest optymalizacja tych dawek. Jednak wraz z pojawianiem się na rynku coraz to nowszych urządzeń diagnostycznych umożliwiających znaczne obniżanie dawek – zarówno w zakresie CT, jak i PET – można sobie również zadać pytanie: jak nisko możemy jeszcze obniżyć dawkę promieniowania jonizującego bez utraty wartości diagnostycznej obrazu medycznego? Podejmując się zadania optymalizacji protokołów diagnostycznych w procedurach PET/CT, warto jednak rozpocząć od wyznaczenia poziomu bazowego, czyli od wyznaczenia lokalnych poziomów referencyjnych dawek. Co zostało wykonane dla celów tej pracy.

Metody: Ocena uzyskanych w naszym Centrum dawek została wykonana w oparciu o metodologię zalecaną przez EuroSafe Imaging Clinical WG, a także stosowaną przez francuski Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) do wyznaczania wartości DRL z uwzględnieniem niewielkich różnic dotyczących włączania do analizy danej osoby w grupie dzieci bądź dorosłych.

Wyznaczono średnią, odchylenie standardowe, medianę oraz 75. oraz 25. percentyl, w podziale na płeć, wiek (dzieci osobno), BMI oraz zastosowany protokół diagnostyczny.

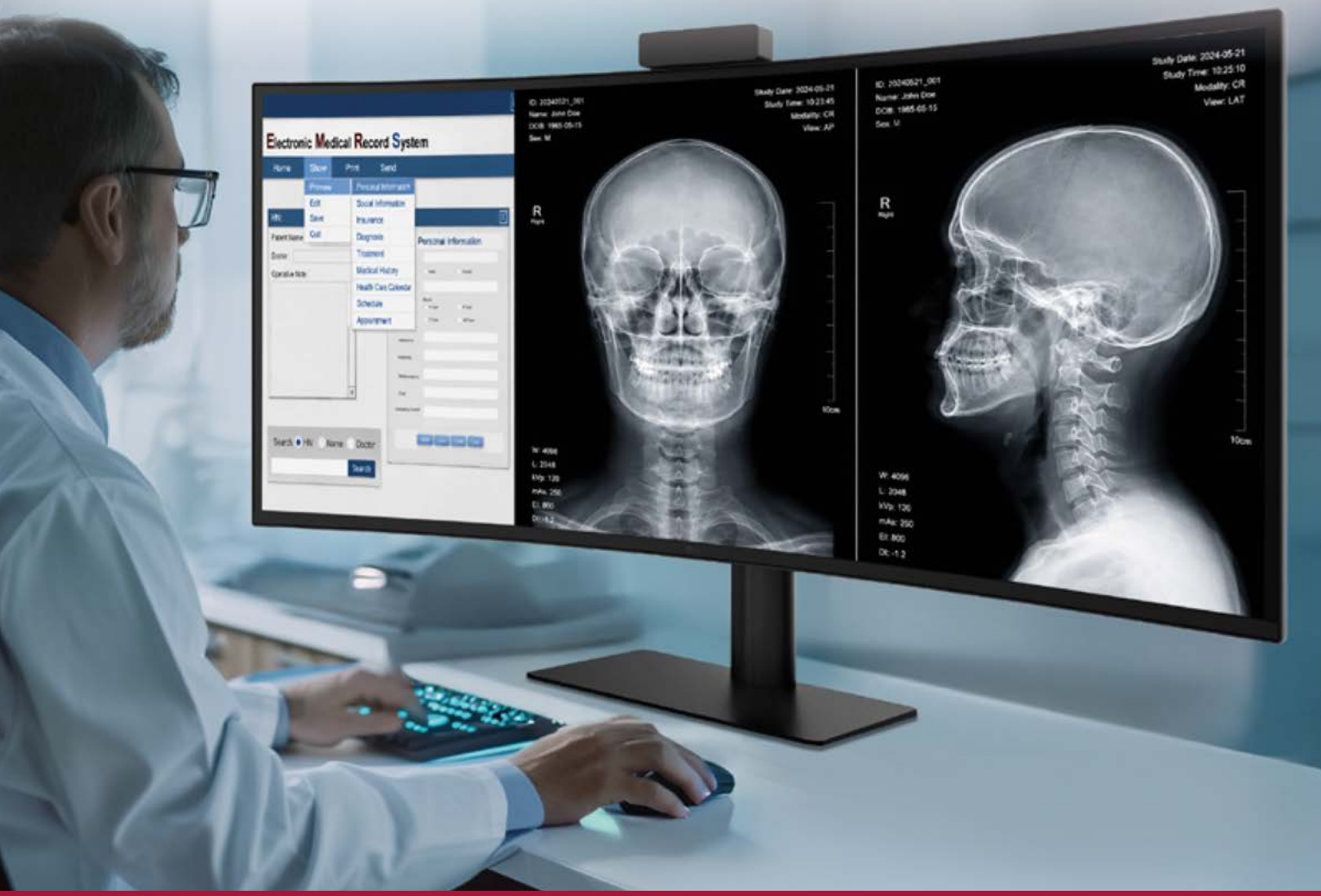
Oceniano dawki uzyskiwane w standardowo stosowanych protokołach diagnostycznych badań wykonanych w naszym

NOWOŚĆ

LG 40HT513D-B (40" 11MP IPS Black)

Jeden monitor. Więcej możliwości diagnostycznych.

Ultrapanoramiczny monitor diagnostyczny, który łączy
przestrzeń trzech ekranów, precyzję obrazu i sprawniejszą pracę



Autoryzowany partner LG Electronics
iQrad Sp. z o.o.
e-mail: biuro@iqrad.pl
tel: +48 660 468 569

www.iqrad.pl

Centrum od marca 2025 do sierpnia 2026 r. Badania są przeprowadzane na skanerze PET/CT nowej generacji: GE Omni Legend. Jest to skaner cyfrowy oparty na technologii cyfrowego kryształu BGO. Czułość skanera wg metodologii NEMA dochodzi do 45,25 cps/Bq, co pozwala na obniżanie stosowanych w badaniach aktywności podawanych radiofarmaceutyków.

Znajomość dawek powiązana została z optymalizacją pracy w laboratorium gorącym, obejmującym m.in. ujednolicenie procedur przygotowywania dawek – pracy z dyspenserem, oszacowaniem niepewności związanych z procesem przygotowywania aktywności radiofarmaceutyków podawanych pacjentom, a także ujednoliceniem sposobu układania pacjentów na stole aparatu.

Tomografia komputerowa w naszych procedurach stosowana jest jedynie w celu korekcji atenuacji i lokalizacji geograficznej. Niemniej jednak ze względu na fakt, że badania obejmują większą część ciała pacjenta, dawki w tych procedurach mogą być znaczące.

Wyniki: W Polsce jak dotąd nie opublikowano zakresu DRL dla badań PET/CT. Uzyskane lokalne poziomy wartości DRL porównano więc z informacjami pozyskanymi na podstawie publikacji naukowych oraz wytycznych dotyczących DRL w badaniach PET/CT obowiązujących w innych krajach.

Szczegółowe wyniki zostaną przedstawione podczas prezentacji. Uzyskiwane wartości dawek w większości mieszczą się poniżej zalecanych wartości DRL.

Wnioski: Optymalizacja protokołów diagnostycznych wykonywana w oparciu o szeroki zbiór danych dotyczących dawek wraz z ujednoliceniem sposobu pracy wszystkich osób zaangażowanych w realizację procedur medycznych prowadzi do stałego podnoszenia jakości wykonywanych badań diagnostycznych. Umożliwia wykrywanie pojawiających się błędów oraz powala na wdrażanie działań korygujących na wczesnym etapie.

Monitorowanie i optymalizacja dawek w Zakładzie Diagnostyki Obrazowej i Radiologii Zabiegowej – teoria, praktyka, życie

Łukasz Giźlar[1]

[1] iQrad Sp. z o.o.

Cel: Monitorowanie dawek promieniowania jonizującego powinien stanowić jeden z podstawowych elementów systemu kontroli jakości oraz ochrony radiologicznej pacjenta.

Celem wystąpienia jest przedstawienie praktycznego podejścia do organizacji tego procesu w zakładzie diagnostyki obrazowej i radiologii zabiegowej, ze szczególnym uwzględnieniem rozdźwięku pomiędzy wymaganiami i dobrą praktyką a możliwościami i ograniczeniami występującymi w codziennej praktyce szpitalnej.

Materiał i metoda: Przeanalizowano wymagania prawne i organizacyjne dotyczące monitorowania oraz optymalizacji dawek w rentgenodiagnostyce i radiologii zabiegowej oraz zestawiono je z doświadczeniami wynikającymi z praktycznej realizacji tego procesu w warunkach szpitalnych. Analizie poddano trzy podstawowe obszary: organizację i odpowiedzialność personelu, dostępność i jakość danych dozymetrycznych oraz narzędzia i procedury wykorzystywane do ich analizy. Uwzględniono różne źródła danych, w tym informacje generowane przez aparaturę medyczną, systemy informatyczne oraz dokumentację prowadzoną przez personel.

Wyniki: Skuteczne monitorowanie dawek wymaga nie tylko dostępu do parametrów ekspozycji i możliwości ich porównania z poziomami referencyjnymi, ale przede wszystkim stworzenia spójnego procesu obejmującego pozyskiwanie, weryfikację, analizę i interpretację danych oraz wdrażanie działań optymalizacyjnych. W praktyce istotnymi ograniczeniami są m.in.: niejednorodność sposobu rejestracji danych, różnice pomiędzy urządzeniami i systemami informatycznymi, niejednoznaczne nazewnictwo badań i protokołów, niekompletność danych oraz rozproszenie odpowiedzialności pomiędzy różne grupy zawodowe i jednostki organizacyjne. Przykłady zaczerpnięte z praktyki szpitalnej pokazują, że sama dostępność danych dozymetrycznych nie jest równoznaczna z możliwością ich wiarygodnej analizy i wykorzystania do optymalizacji.

Wnioski: Monitorowanie dawki nie powinno być traktowane wyłącznie jako obowiązek formalny ani sprowadzać się do okresowego porównania wartości wskaźników dozymetrycznych z poziomami referencyjnymi. Jego rzeczywistą wartością jest możliwość identyfikacji nieprawidłowości, analizy ich przyczyn oraz systematycznego doskonalenia procesu diagnostycznego i terapeutycznego. Kluczowe znaczenie mają przy tym nie tylko narzędzia informatyczne, lecz również jakość danych, właściwie zdefiniowane procedury, jednoznaczny podział odpowiedzialności oraz współpraca całego zespołu biorącego udział w planowaniu i realizacji procedur z użyciem promieniowania jonizującego, w tym fizyków medycznych.



Synektik

Pełne wsparcie dla diagnostyki obrazowej i radioterapii

SynDose Rejestr Dawek — Monitorowanie i raportowanie dawki promieniowania

- Monitorowanie i raportowanie dawek promieniowania stosowanych w diagnostyce obrazowej i medycynie nuklearnej
- Automatyzacja procesu wykonania audytów klinicznych wewnętrznych
- Optymalizacja pracy pracowni diagnostyki obrazowej
- Najwyższy poziom bezpieczeństwa pacjentów (zastosowanie zasady ALARA)
- Zgodność z aktualnymi wymogami prawnymi Ministerstwa Zdrowia oraz KCOR
- Autorskie rozwiązanie Grupy Synektik
- Oprogramowanie klasyfikowane zgodnie z Regułą 11 w klasie I wyrobu medycznego

Dowiedz się więcej:

LumiTest — Codzienna kontrola jakości monitorów medycznych

- Specjalistyczne oprogramowanie do wykonywania testów podstawowych (codziennych) jakości wyświetlanego obrazu na każdej stacji diagnostycznej i przeglądowej
- Bezpieczeństwo, szybkość i zgodność z wymogami polskiego prawa
- Realne wsparcie dla placówek medycznych we właściwym i terminowym wykonywaniu testów monitorów a także w prawidłowym prowadzeniu dokumentacji
- Vendor Neutral – oprogramowanie kompatybilne ze wszystkimi producentami i modelami monitorów

Dowiedz się więcej:

MVISION — Aplikacje do konturowania z wykorzystaniem sztucznej inteligencji

AI

- Contour+, Dose+, Imagine+, Adopt+: grupa komplementarnych rozwiązań programistycznych wspierających pracę radioterapeuty, fizyka medycznego i elektroradiologa dla skuteczniejszego leczenia onkologicznego
- Podział aplikacji na dwie grupy: Workspace+ oraz moduły edukacyjne (Guide i Verify), które są przeznaczone dla uczelni oraz placówek chcących zadbać o podniesienie kompetencji specjalistów

Dowiedz się więcej:

JEDNA FIRMA
– wiele możliwości dla Twojej placówki

SYNEKTIK SA
ul. Dziekońskiego 3
00-728 Warszawa

tel.: +48 22 327 09 00
www.synektik.pl

Rejestr Dawek SynDose produkowany przez Synektik jest wyrobem medycznym, przeznaczonym do użytku w diagnostyce obrazowej przez wykwalifikowany personel medyczny.

SSA_88_2026.07.09

Analiza dawek promieniowania, w tym lokalnych poziomów referencyjnych opartych na BMI, w tomografii komputerowej serca u pacjentów dorosłych. Wpływ protokołów badań na dawkę dla pacjenta

Joanna Kidoń-Szołtysek[1], Leszek Wojciuch[2], Andrzej Ochała[3], Maciej Sosnowski[3], Wojciech Wojakowski[3], Bartłomiej Stasiów[4]

[1] Górnośląskie Centrum Medyczne, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach;
[2] Górnośląskie Centrum Medyczne, Narodowy Instytut Onkologii im. M. Skłodowskiej-Curie w Gliwicach;
[3] Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach;
[4] Górnośląskie Centrum Medyczne

Cel: Przedstawienie metod optymalizacji badań TK na przykładzie oceny narażenia pacjentów na promieniowanie jonizujące podczas tomografii komputerowej serca z wykorzystaniem różnych protokołów klinicznych, lokalnych DRL (z podziałem na BMI), oraz oszacowania dawek efektywnych. Omówiono publikację naukową.

Materiał i metody: Przeanalizowano łącznie 412 badań do oceny tętnic wieńcowych (373 „step-and-shoot", 39 „high-pitch (HP)"). 2175 badań obejmujących retrospektywne akwizycje spiralne o niskim współczynniku „pitch" (r_LP), 209 badań z wykorzystaniem techniki aksjalnej do oceny wskaźnika uwapnienia tętnic wieńcowych (CAC). Analizowano również poszczególne sekwencje. Badania przeprowadzono z użyciem tomografu komputerowego z dwuźródłowego. Ustalono lokalne poziomy DRL oraz dawki efektywne. Analiza objęła całą grupę pacjentów i została sklasyfikowana według BMI.

Wyniki: Protokół HP charakteryzował się najniższą skuteczną dawką i medianą iloczynu dawki i długości (1,4 mSv/52,7 mGy · cm), kolejno: CAC (2,2 mSv/4,2), protokół HP (rozkurcz i skurcz) (4,0/152,8), metoda step-and-shoot (6,0/231,5) oraz r_HP (21,5/825,6). Analiza kategoryzowana według BMI wykazała proporcjonalną zależność między dawką a masą ciała pacjenta.

Wnioski: Optymalizacja narażenia pacjenta na promieniowanie jonizujące polega na doborze odpowiedniego protokołu badania zgodnie ze wskazaniami klinicznymi. Wykorzystanie trybu prospektywnej akwizycji i sekwencji o wysokiej częstotliwości znacząco zmniejsza dawkę promieniowania jonizującego. Konieczne jest określenie diagnostycznych poziomów referencyjnych dla konkretnego protokołu, a także uwzględnienie masy ciała pacjenta przy wyznaczaniu wartości referencyjnych.

Systemy automatycznej kontroli ekspozycji CARE Dose 4D/CARE kV i Auto Prescription w tomografii komputerowej pod kątem optymalizacji protokołów diagnostycznych

Joanna Kidoń-Szołtysek[1], Aleksandra Klimas[2], Marcin Dybek[3], Leszek Wojciuch[4], Aneta Kawa-Iwanicka[5], Krzysztof S. Gołba[6]

[1] Górnośląskie Centrum Medyczne, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach;
[2] Szpital Uniwersytecki w Krakowie;
[3] Katowickie Centrum Onkologii;
[4] Górnośląskie Centrum Medyczne, Narodowy Instytut Onkologii im. M. Skłodowskiej-Curie w Gliwicach;
[5] Affidea NU-MED Centrum Diagnostyki i Terapii Onkologicznej w Katowicach;
[6] Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

Cel: Celem wystąpienia jest omówienie działania systemów AEC w tomografii komputerowej: CARE Dose4D, CARE kV oraz Auto Prescription pod kątem optymalizacji protokołów badań z wykorzystaniem fantomów osób dorosłych, zarówno szczupłych, jak i otyłych. W badaniach skupiliśmy się na ocenie wpływu różnych ustawień parametrów na dawkę promieniowania oraz na jakość obrazu.

Materiał i metody: Badania przeprowadzono przy użyciu dwóch tomografów komputerowych różnych producentów oraz z zastosowaniem fantomu antropomorficznego szczupłego i otyłego, a także fantomu Catphan. Dostosowano parametry, m.in. siłę modulacji mA, referencyjne wartości kV i mA, ustawienia optymalizacji dawki oraz opcję CARE kV. Zebrane dane obejmowały modulację mA, $CTDI_{vol}$, mAs, kV oraz względne odchylenie standardowe wartości HU.

Wyniki: Zostaną omówione podczas prezentacji.

Wnioski: Poznanie sposobu działania systemu AEC w tomografach komputerowych jest kluczowe w procesie optymalizacji protokołów diagnostycznych. Wiedza ta jest niezbędna do zapewnienia minimalizacji narażenia pacjenta, a także odpowiedniej jakości obrazu.

Wielokryterialna optymalizacja w radiologii

Ryszard Kowski[1]

[1] Centrum Medyczne Kształcenia Podyplomowego

Optymalizacja jednokryterialna (czyli proste rozumienie ochrony radiologicznej) może dotyczyć ogółu ludności oraz osób pracujących w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące. W przypadku narażenia medycznego należy mówić o optymalizacji wielokryterialnej. Sens i znaczenie dawki w różnych aspektach, w tym zarówno dawki promieniowania jonizującego, jak i środka kontrastującego. Znaczenie optymalizacji i kierunków działania z punktu widzenia społeczeństwa i pacjenta. Sugerowania kolejność działań. Omówione będzie znaczenie zespołu w kontekście skuteczności optymalizacji. Rola i znaczenie pojęcia poziomów referencyjnych oraz konieczność nowego podejścia do tych wielkości zawierają Rekomendacje Komisji (EURATOM) 2026/403 wydanych 23 lutego bieżącego roku. Przegląd metod obrazowania i czynników wpływających na dawkę i na obraz oraz całościowe traktowanie ścieżki pacjenta w diagnostyce obrazowej omówione zostaną w kontekście normy EN 18167:2026, wydanej w czerwcu bieżącego roku.

Optymalizacja w stomatologii

Oliwia Kukuła[1]*, Sebastian Stambuła*[2]*, Izabela Gorczewska*[3]

[1] Katedra Fizyki, Politechnika Częstochowska – Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów, ul. Armii Krajowej 19, 42-200 Częstochowa;
[2] Katedra Fizyki, Politechnika Częstochowska – Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów, ul. Armii Krajowej 19, 42-200 Częstochowa; Dział Fizyki Medycznej, Górnośląskie Centrum Medyczne im. prof. L. Gieca, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach;
[3] Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy Oddział w Gliwicach, ul. Wybrzeże Armii Krajowej 15, 44-102 Gliwice

Optymalizacja dawki promieniowania jonizującego stanowi jeden z podstawowych elementów współczesnej diagnostyki obrazowej w stomatologii. Chociaż badanie z wykorzystaniem tomografii wiązki stożkowej (CBCT) wiąże się z wyższą dawką promieniowania niż pojedyncze zdjęcie wewnątrzustne lub pantomograficzne, jego wartość diagnostyczna może prowadzić do zmniejszenia całkowitej ekspozycji pacjenta na promieniowanie w całym procesie leczenia. W artykule przedstawiono analizę wskazującą, że wykonanie jednego badania CBCT umożliwia uzyskanie kompleksowych informacji diagnostycznych, dzięki czemu często eliminuje konieczność wykonywania wielu dodatkowych badań radiologicznych podczas kolejnych etapów terapii. Szczególne znaczenie ma to w leczeniu endodontycznym, gdzie dane uzyskane z CBCT mogą pozostawać przydatne przez wiele lat, wspomagając diagnostykę, planowanie leczenia, ocenę efektów terapii oraz podejmowanie decyzji klinicznych bez konieczności powtarzania ekspozycji radiologicznej. Takie podejście wpisuje się w zasadę ALARA, umożliwiając optymalizację całkowitej dawki promieniowania przy jednoczesnym zwiększeniu skuteczności diagnostycznej i bezpieczeństwa pacjenta.

Optymalizacja protokołu obrazowania CBCT w radioterapii adaptacyjnej

Kinga Polaczek-Grelik[1]

[1] Affidea NU-MED Centrum Diagnostyki i Terapii Onkologicznej Katowice sp. z o.o.

Systemy obrazowania na potrzeby radioterapii charakteryzować się powinny jakością obrazu umożliwiającą jednoznaczne określenie wielkości, lokalizacji oraz otoczenia obszaru zaplanowanego do napromienienia w granicach przyjętych tolerancji, niepewności zmienności czy dokładności geometrycznej. Stąd jakość obrazu przyjęło się definiować za pomocą takich mierzalnych wskaźników, jak kontrastowość, jednorodność, szum czy rozdzielczość przestrzenna. W radioterapii adaptacyjnej, dążąc do dostosowania rozkładu dawek on-line do aktualnego obrazu pacjenta, wypracowywane są protokoły obrazowania CBCT za pomocą urządzeń kV stowarzyszonych z akceleratorem medycznym, które mają zapewnić pożądaną do ww. celów jakość obrazu. Ta z kolei jest pochodną kombinacji zastosowanego protokołu obrazowania oraz algorytmu rekonstrukcji. W prezentacji zostaną omówione wyniki procesu optymalizacji protokołu obrazowania pod względem istotnych z punktu widzenia radioterapii parametrów wraz ze sprawdzeniem, jak dostarczony przez producenta algorytm rekonstrukcji radzi sobie z tak uzyskanymi obrazami. Analiza opierać się będzie na wielkościach, do kontroli których zobowiązuje aktualne polskie prawo, a które z punktu widzenia konturowania, obliczania rozkładu dawek czy ochrony radiologicznej, w oparciu o dany obraz są krytyczne. W pracy wykorzystano: fantom Catphan 503®, rutynowo stosowany w kontroli jakości systemów obrazowania sprzężonych z liniowym akceleratorem medycznym, fantom antropomorficzny celem określenia, jak standardowe pomiary QA korelują z obrazem uzyskiwanym on-line dla pacjenta oraz fantom cylindryczny do pomiarów CTDI. W pracy skupiono się na protokole obrazowania rejonu brzucha/miednicy, który w obecnie komercyjnie dostępnych systemach jest najlepiej dopracowany. Skupiono się na analizie wpływu obciążenia prądowo-czasowego, szybkości obrotu gantry, ilości rejestrowanych ramek/obrazów, kątowego zakresu obrazowania na jakość uzyskiwanej tomografii CBCT, na narażenie radiologiczne pacjenta oraz techniczne aspekty realizacji

procesu RT. Sprawdzono również długoterminową stabilność pracy systemu linac CBCT oraz zmienność pomiędzy trzema takimi systemami wykorzystywanymi w ośrodku.

Stosując metodę pomiaru CTDI zaczerpniętą z normy IEC60601-2-68, dawkę dla obecnie zalecanego protokołu obrazowania Pelvis HD/adapt z wykorzystaniem systemów Elekta XVI™ określono na poziomie 12,0 mGy ± 4% na skan realizowany przy pełnym obrocie gantry i parametrach: kolimator M20, filtr Bowtie/F1, 120 kV, 40 mA, 40 ms, 528 total mAs, 660 frames, gantry speed 180 deg/min. Przeanalizowano, jak zmiana tych parametrów wpływa na dawkę otrzymywaną przez pacjenta, na jednorodność, kontrastowość, rozdzielczość przestrzenną oraz stałość PV/HU do ED dla algorytmu rekonstrukcji Pelvis adapt.

Ustalono również, że zmienność między systemami CBCT, uwzględniająca zarówno charakterystyki samych lamp kV, stabilność pracy układu pomiarowego, jak i czynnik ludzki jest na poziomie 10% dla protokołu obrazowania Pelvis M20, obraz, z którego jest wykorzystywany do rekonstrukcji HD/adapt w systemach Elekta.

Podsumowując, wyznacznikiem procesu optymalizacji protokołów obrazowania CBCT w radioterapii jest nie tylko jakość uzyskiwanego obrazu czy narażenie pacjenta, ale również szybkość/sprawność realizacji procesu adaptacji on-line ze względu na zachodzące w czasie zmiany anatomiczne/topograficzne narządów wewnętrznych oraz potrzebę minimalizacji niezamierzonych zmian pozycji przez pacjenta. W prezentacji starano się poruszyć wszystkie aspekty zagadnienia istotne z punktu widzenia fizyka medycznego.

Czynniki istotne dla optymalizacji dawki pacjenta z uwzględnieniem obszaru badania i rodzaju procedury radiologicznej

Marta Rowińska[1], Stanisław Rachwał[2]

[1] Uniwersyteckie Centrum Kliniczne, Politechnika Gdańska;
[2] Merk Sp. z o.o.

Optymalizacja dawki promieniowania jest jednym z podstawowych elementów ochrony radiologicznej pacjenta. Jej celem jest uzyskanie obrazu o jakości wystarczającej do postawienia prawidłowego rozpoznania przy możliwie najmniejszej ekspozycji. Zgodnie z zasadą ALARA dawkę należy utrzymywać na możliwie niskim, racjonalnie osiągalnym poziomie. Nie oznacza to jednak minimalizacji dawki za wszelką cenę – zbyt duże jej ograniczenie może pogorszyć jakość obrazu i prowadzić do konieczności powtórzenia badania, a tym samym zwiększenia całkowitej ekspozycji pacjenta.

Na wielkość dawki wpływają przede wszystkim cechy pacjenta, takie jak masa ciała, grubość badanego obszaru, wiek i skład tkanek. Szczególnej uwagi wymagają badania dzieci ze względu na większą promieniowrażliwość tkanek. Istotne jest również prawidłowe ułożenie pacjenta, ponieważ błędne pozycjonowanie może prowadzić zarówno do pogorszenia jakości obrazu, jak i konieczności powtórzenia ekspozycji. Znaczenie ma także obszar anatomiczny. Klatka piersiowa może być badana przy stosunkowo niewielkich dawkach, natomiast jama brzuszna, miednica i odcinek lędźwiowy kręgosłupa wymagają zwykle większych parametrów ekspozycji. Szczególną ochroną należy objąć narządy wrażliwe na promieniowanie, m.in. soczewki oczu, tarczycę, piersi i gonady, stosując odpowiednią kolimację, ograniczenie pola ekspozycji i właściwe projekcje.

Optymalizacja zależy również od rodzaju procedury radiologicznej. W radiografii cyfrowej kluczowe są dobór kVp i mAs, filtracja oraz kolimacja. Należy kontrolować wskaźniki ekspozycji, aby zapobiegać zjawisku *dose creep*, czyli stopniowemu zwiększaniu dawki. W tomografii komputerowej, która odpowiada za znaczną część dawki otrzymywanej przez pacjentów, stosuje się m.in. automatyczną modulację prądu lampy, dobór napięcia do budowy pacjenta, rekonstrukcje iteracyjne, ograniczenie zakresu skanowania i liczby faz oraz protokoły dostosowane do wskazań klinicznych.

W radiologii zabiegowej istotne są przede wszystkim skracanie czasu fluoroskopii, stosowanie fluoroskopii impulsowej, ograniczanie liczby rejestracji, właściwa kolimacja i dobór projekcji. W mammografii szczególne znaczenie ma prawidłowa kompresja piersi, która zmniejsza grubość badanego obszaru, poprawia kontrast i pozwala ograniczyć dawkę.

Na dawkę wpływają również parametry techniczne aparatury: napięcie lampy, mAs, filtracja, kolimacja, automatyczna kontrola ekspozycji, czułość detektora i sprawność generatora. Nowoczesne systemy mogą automatycznie dostosowywać parametry ekspozycji do budowy pacjenta.

Ważnym narzędziem kontroli są diagnostyczne poziomy referencyjne (DRL). Nie są one limitami dawek, lecz wartościami odniesienia służącymi do identyfikowania procedur, w których dawki mogą być nieuzasadnienie wysokie lub niskie. Analiza takich parametrów, jak DAP/KAP, CTDIvol, DLP czy średnia dawka gruczołowa pozwala monitorować i doskonalić proces diagnostyczny.

Optymalizacja dawki jest zadaniem całego zespołu medycznego. Lekarz odpowiada za uzasadnienie badania, elektroradiolog za prawidłowe wykonanie i dobór parametrów, a fizyk medyczny za kontrolę jakości, analizę dawek i działania optymalizacyjne. Coraz większą rolę odgrywają także systemy monitorowania dawek pacjentów umożliwiające bieżącą analizę ekspozycji i wykrywanie odchyleń.

Najważniejszy wniosek: optymalizacja nie polega na uzyskaniu *najmniejszej możliwej dawki*, lecz na znalezieniu właściwej równowagi między bezpieczeństwem pacjenta a jakością diagnostyczną obrazu. Wymaga to uwzględnienia pacjenta, badanego obszaru, rodzaju procedury, możliwości aparatury oraz kompetencji personelu.

Pozyskiwanie danych opisujących narażenie pacjenta z plików DICOM i RDSR z użyciem skryptów w języku Python

Witold Skrzyński[1]

[1] Zakład Fizyki Medycznej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

Wielkości opisujące narażenie pacjenta podczas procedur z zakresu rentgenodiagnostyki i radiologii zabiegowej są analizowane między innymi na potrzeby wyznaczania i stosowania diagnostycznych poziomów referencyjnych oraz porównania z wartościami, których przekroczenie może oznaczać ekspozycję niezamierzoną lub konieczność monitorowania pacjenta w radiologii zabiegowej.

Dane opisujące narażenie pacjentów mogą być pozyskiwane z plików DICOM i RDSR (Radiation Dose Structured Report) z użyciem systemów monitorowania dawek. Niekiedy jednak zdarza się, że urządzenie radiologiczne nie jest podłączone do systemu monitorowania dawek, a fizyk medyczny dysponuje jedynie dostępem do plików źródłowych. W takim przypadku wybrane dane dotyczące pacjenta, rodzaju badania, parametrów ekspozycji i wielkości opisujących narażenie pacjenta można pozyskać w zautomatyzowany sposób z użyciem skryptów w języku programowania Python.

Podczas wykładu zaprezentowane zostaną proste przykładowe skrypty umożliwiające pozyskanie wybranych danych ze wszystkich plików DICOM i/lub RDSR znajdujących się we wskazanym folderze z wykorzystaniem bibliotek *pydicom* i *RDSR Navigator*. W przypadku plików RDSR uwzględniona zostanie możliwość jednoczesnego pozyskania zarówno danych zbiorczych, dotyczących całej procedury radiologicznej (np. całkowity DAP), jak i danych dotyczących każdej zarejestrowanej serii/ekspozycji. Prezentowane skrypty uwzględniają między innymi:

- podstawową obsługę błędów związanych z natrafieniem na plik innego rodzaju lub niezawierający szukanych danych;
- proste operacje na uzyskanych danych, np. przemnożenie wartości DAP przez określony czynnik w celu dostosowania jednostek;
- przypisanie wartości diagnostycznego poziomu referencyjnego na podstawie wybranej informacji, np. opisu serii;
- zapisanie uzyskanych danych w arkuszu Excel.

Prezentowane skrypty zostaną udostępnione zainteresowanym uczestnikom.

CZWARTEK, SESJA: PROMIENIOWANIE NIEJONIZUJĄCE

Wykorzystanie fNIRS jako techniki ewaluacyjnej w terapii medycznej

Karolina Jezierska[1], Iwona Rotter[2], Agnieszka Turoń-Skrzypińska[2], Aleksandra Rył[2]

[1] Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie, Zakład Fizyki Medycznej, ul. Ku Słońcu 13, 71-073 Szczecin;
[2] Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie, Zakład Rehabilitacji Medycznej i Fizjoterapii Klinicznej, ul. Żołnierska 54, 71-210 Szczecin

Celem pracy było określenie, na podstawie badań własnych, możliwości wykorzystania parametrów odpowiedzi korowej rejestrowanych za pomocą funkcjonalnej spektroskopii w podczerwieni fNIRS do oceny efektów interwencji medycznych i rehabilitacyjnych. Szczególną uwagę poświęcono możliwości porównywania różnych form ćwiczeń, analizie dynamiki aktywacji korowej oraz identyfikacji czynników wpływających na zmienność odpowiedzi.

Przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych z zastosowaniem systemu fNIRS rejestrującego zmiany stężenia oksyhemoglobiny i deoksyhemoglobiny w korze mózgowej. Główny model badawczy stanowił system NefroBall przeznaczony do interaktywnych ćwiczeń dłoni z wykorzystaniem sprzężenia wzrokowo-ruchowego. W badaniu obejmującym 117 zdrowych dorosłych porównano zadanie interaktywne z zadaniem pasywnym, analizując amplitudę zmian stężenia oksyhemoglobiny (ΔoxyHb) oraz czas osiągnięcia maksymalnej odpowiedzi (t_{max}) w korze wzrokowej, ciemieniowej, ruchowej i przedczołowej. W odrębnej analizie obejmującej 97 osób oceniono wpływ płci na odpowiedź hemodynamiczną.

Podczas zadania interaktywnego z wykorzystaniem NefroBall czas osiągnięcia maksymalnej odpowiedzi hemodynamicznej był istotnie krótszy we wszystkich analizowanych obszarach kory niż podczas zadania pasywnego. Istotnie większą amplitudę ΔoxyHb stwierdzono w korze wzrokowej, natomiast w korze ruchowej, ciemieniowej i przedczołowej różnice amplitudy nie były istotne. Wyniki wskazują, że zadanie interaktywne wpływało silniej na dynamikę rekrutacji sieci korowych niż na maksymalną intensywność odpowiedzi. Wykazano również różnice międzypłciowe w amplitudzie odpowiedzi, szczególnie w korze ciemieniowej i w warunku zadania pasywnego.

fNIRS może być użytecznym narzędziem do oceny aktywności kory podczas interwencji medycznych i ćwiczeń rehabilitacyjnych. Metoda umożliwia analizę amplitudy, czasu i lokalizacji odpowiedzi hemodynamicznej oraz porównywanie różnych wariantów postępowania. Wyniki uzyskane z wykorzystaniem systemu NefroBall wskazują, że zadania interaktywne mogą prowadzić do szybszej rekrutacji sieci korowych niż zadania pasywne. Interpretacja pomiarów fNIRS powinna jednak uwzględniać zmienność osobniczą oraz być łączona z wynikami klinicznymi i funkcjonalnymi, ponieważ zmiana aktywacji korowej nie jest sama w sobie równoznaczna ze skutecznością terapii.

Obrazowanie termiczne w ocenie symetrii pracy mięśniowej podczas treningu progresywnego

Teresa Kasprzyk-Kucewicz[1], Aleksandra Mrowiec[1], Manuel Sillero-Quintana[2], Krzysztof Olszowy[3], Agata Stanek[4], Armand Cholewka[1]

[1] Instytut Inżynierii Biomedycznej, Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych, ul. 75. Pułku Piechoty 1A, 42-500 Chorzów, Polska;
[2] Wydział Nauk o Aktywności Fizycznej i Sporcie (INEF), Uniwersytet Techniczny w Madrycie, Hiszpania;
[3] Specjalistyczne Centrum Stomatologii i Implantologii ComfortDent, ul. Zabrska 14, 40-959 Katowice;
[4] Klinika Chorób Wewnętrznych, Metabolicznych i Angiologii Katedry Chorób Wewnętrznych, Katedra Chorób Wewnętrznych, Wydziału Nauk o Zdrowiu Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach, ul. Poniatowskiego 15, Katowice

Celem pracy była ocena możliwości wykorzystania obrazowania termicznego do analizy symetrii odpowiedzi mięśniowej podczas wysiłku fizycznego oraz określenie wpływu charakteru dyscypliny sportowej na rozkład temperatury powierzchni ciała. Przedstawiono wyniki badań prowadzonych u zawodników reprezentujących dyscyplinę o charakterze symetrycznym (kolarstwo) oraz asymetrycznym (tenis stołowy).

Badania obejmowały dwie grupy sportowców. W pierwszej grupie analizowano ośmiu wytrenowanych kolarzy wykonujących progresywny test wysiłkowy na cykloergometrze. Rejestrowano ciągłe obrazy termiczne mięśni czworogłowych uda kamerą FLIR T1020 oraz obustronnie monitorowano utlenowanie mięśnia prostego uda metodą bliskiej podczerwieni (NIRS, Moxy Monitor). Drugą grupę stanowiło dwunastu tenisistów stołowych, u których oceniano asymetrię temperatury powierzchniowej kończyn przed meczem oraz zmiany termiczne po zakończeniu rywalizacji z wykorzystaniem wskaźnika asymetrii (AI).

U kolarzy obserwowano zbliżony przebieg zmian temperatury w obu kończynach dolnych podczas kolejnych etapów wysiłku, co potwierdza symetryczny charakter pracy mięśniowej.

Jednocześnie wykazano silną dodatnią zależność pomiędzy zmianami temperatury skóry a zmianami utlenowania mięśnia prostego uda podczas zasadniczej fazy wysiłku progresywnego, co wskazuje na związek odpowiedzi termicznej z lokalnymi procesami metabolicznymi i perfuzją mięśni. W grupie tenisistów stołowych już w pomiarach spoczynkowych stwierdzono istotne asymetrie temperatury pomiędzy stroną dominującą i niedominującą. Największe różnice dotyczyły mięśni kończyny górnej, natomiast w obrębie kończyn dolnych istotną asymetrię odnotowano dla przedniej części uda.

Obrazowanie termiczne stanowi wartościowe, nieinwazyjne narzędzie oceny funkcjonalnej pracy mięśni w sporcie. W dyscyplinach symetrycznych umożliwia monitorowanie fizjologicznej odpowiedzi mięśni na narastające obciążenie treningowe oraz może odzwierciedlać lokalne zmiany utlenowania mięśni. Natomiast w dyscyplinach asymetrycznych pozwala identyfikować charakterystyczne wzorce asymetrii będące efektem długotrwałej adaptacji treningowej. Łączenie termografii z metodami oceniającymi funkcję mięśni, takimi jak NIRS, zwiększa potencjał diagnostyczny tej techniki w monitorowaniu treningu sportowego.

Wykorzystanie HR NMR w identyfikacji biomarkerów indywidualnej skuteczności i toksyczności radiochemioterapii u chorych na raka głowy i szyi

Łukasz Boguszewicz[1]

[1] Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie, Państwowy Instytut Badawczy, Oddział w Gliwicach

Raki płaskonabłonkowe regionu głowy i szyi (HNSCC) to zróżnicowana grupa nowotworów rozwijających się m.in. w jamie ustnej, gardle i krtani. Narządy te odgrywają kluczową rolę w funkcjach oddechowych, odżywczych i społecznych, dlatego leczenie musi uwzględniać zarówno efekt terapeutyczny, jak i funkcjonalny. Standardem postępowania jest radioterapia (RT) oraz jednoczasowa chemioradioterapia (CHRT), a w zaawansowanych stadiach – celem zmniejszenia objętości guza i/lub ograniczenia rozsiewu – poprzedza się je chemioterapią indukcyjną (iCHT). Rozwój nowoczesnych technik poprawił przeżywalność pacjentów, jednak wciąż wyzwaniem pozostają dotkliwe skutki uboczne, takie jak ostry odczyn popromienny czy toksyczność hematologiczna i niehematologiczna po chemioterapii. W leczeniu onkologicznym, w tym również w leczeniu HNSCC, występuje indywidualnie zróżnicowane ryzyko powikłań oraz prawdopodobieństwo wyleczenia, wynikające m.in. z osobniczej radio- i chemiooporności. Istnieje zatem potrzeba opracowania nowych modeli opisujących odpowiedź pacjenta na leczenie onkologiczne oraz zdolnych do predykcji tej odpowiedzi, zarówno w kwestii nasilenia skutków ubocznych, jak i wyleczenia. Na to zapotrzebowanie odpowiada metabolomika kliniczna, której celem jest ocena i przewidywanie ryzyka zdrowotnego i chorobowego danej osoby poprzez określenie sygnatur metabolicznych w płynach ustrojowych lub tkankach. Surowica krwi jest tu najczęściej badanym materiałem ze względu na małoinwazyjny i szybki sposób pobrania. Profil metaboliczny surowicy krwi odzwierciedla reakcję organizmu na chorobę oraz zastosowane leczenie, a dynamiczne zmiany profilu metabolicznego w czasie dają możliwość monitorowania odpowiedzi na leczenie. Spektroskopia magnetycznego rezonansu jądrowego o wysokiej rozdzielczości (HR NMR) to jedno z dwóch podstawowych narzędzi do analizy związków niskocząsteczkowych (metabolitów) i lipoprotein, a także leków oraz substancji toksycznych w płynach ustrojowych.

Chociaż wciąż nie ma jeszcze w pełni zwalidowanych klinicznie modeli metabolomicznych, to dotychczasowe wyniki dostarczają dowodów na to, że leczenie onkologiczne indukuje głębokie, bezpośrednie i pośrednie zmiany w metabolizmie ustrojowym pacjenta chorego na HNSCC. Zmiany wywołane RT mają kumulacyjny charakter – efekt metaboliczny ulega progresywnemu nasileniu wraz z podawaniem kolejnych frakcji dawki promieniowania, natomiast CHT wywołuje natychmiastowe, gwałtowne zaburzenia, które zanikają w przeciągu kilku tygodni. Monitoring tych zmian metabolicznych daje szansę na predykcję toksyczności oraz skuteczności leczenia. Zapalenie błony śluzowej w obrębie leczonego obszaru znacząco utrudnia przyjmowanie pokarmów i płynów, co grozi stanem kacheksji. Pomiar ciał ketonowych w surowicy krwi pozwala na szybkie wykrycie pacjentów zagrożonych wygłodzeniem i wprowadzenie odżywiania zastępczego lub dojelitowego. Ponadto parametry, takie jak wyjściowo podwyższony poziom lipidów w surowicy oraz lepszy stan odżywienia pacjenta przed leczeniem mogą stanowić cenne czynniki predykcyjne dla skuteczności leczenia iCHT. Analiza spektroskopowa profilu metabolicznego surowicy krwi potwierdza również kliniczne obserwacje dotyczące wpływu iCHT na tolerancję kolejnych etapów leczenia – mimo udokumentowanej wysokiej toksyczności iCHT zastosowanie tej metody nie zwiększa toksyczności RT i CHRT. Do skutków ubocznych leczenia onkologicznego zalicza się również ból i dystres, których wpływ na profil metaboliczny surowicy krwi jest mierzalny techniką HR NMR.

Przedstawione zależności jednoznacznie wskazują, że HR NMR to skuteczne narzędzie do mapowania dynamicznych zmian metabolicznych u pacjentów z HNSCC. Zrozumienie ogólnoustrojowej odpowiedzi na agresywne leczenie przeciwnowotworowe oraz identyfikacja markerów metabolicznych stwarza realną szansę na personalizację terapii, umożliwiając precyzyjne prognozowanie powikłań oraz optymalizację strategii leczniczych w czasie rzeczywistym.

Zintegrowana ocena odpowiedzi biologicznej na mikro- i nanoplastiki oraz ich internalizacji w komórkach rozrodczych

Natalia Janik-Olchawa[1], Zofia Brylowska[2], Magdalena Wytrwał[3], Ewa Ocłoń[4], Julia Kowalczyk[2], Nina Łypaczewska[2], Kacper Świzdor[2], Zuzanna Setkowicz[1], Roman Major[5], Justyna Więcek-Chmielarz[5], Joanna Chwiej[2]

[1] Instytut Zoologii i Badań Biomedycznych, Uniwersytet Jagielloński, Kraków, Polska;
[2] Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Kraków, Polska;
[3] Akademickie Centrum Materiałów i Nanotechnologii, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Kraków, Polska;
[4] Wydział Medycyny Weterynaryjnej, Laboratorium Produkcji Białek Rekombinowanych, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Kraków, Polska;
[5] Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej, Polska Akademia Nauk, Kraków, Polska

Mikro- i nanoplastiki (MNPs) stanowią grupę powszechnie występujących zanieczyszczeń środowiskowych, których potencjalny wpływ na funkcjonowanie układu rozrodczego człowieka pozostaje wciąż niedostatecznie poznany. Celem badań była kompleksowa ocena oddziaływania MNPs na wybrane komórki żeńskiego układu rozrodczego, ze szczególnym uwzględnieniem zależności odpowiedzi komórkowej od rozmiaru cząstek oraz stopnia ich internalizacji do komórek śledzonej z wykorzystaniem mikroskopii ramanowskiej.

W badaniach wykorzystano niemodyfikowane powierzchniowo cząstki polistyrenowe o nominalnych średnicach 5 µm, 1 µm i 100 nm. Ocenę odpowiedzi biologicznej przeprowadzono z wykorzystaniem immortalizowanych ludzkich komórek myometrium (hTERT-HM), eksponowanych na MNPs przez 6, 24 i 48 h. Analizowano żywotność komórek, poziom cytotoksyczności, apoptozy, wewnątrzkomórkowych reaktywnych form tlenu oraz autofagii, jak również zachodzące na skutek ekspozycji zmiany w organizacji cytoszkieletu komórek. Ważnym elementem badań było opracowanie autorskich narzędzi obliczeniowych umożliwiających ilościową analizę obrazów fluorescencyjnych, w tym ocenę poziomu reaktywnych form tlenu oraz precyzyjną charakterystykę zmian w organizacji cytoszkieletu. Uzupełnieniem badań były pomiary z wykorzystaniem spektroskopii i mikroskopii ramanowskiej, prowadzone dla komórek w stanie uwodnionym z zastosowaniem obiektywu immersyjnego. Podejście to umożliwiło identyfikację sygnałów charakterystycznych dla cząstek polimerowych oraz analizę ich lokalizacji w obrębie komórek i zmian w ich środowisku biomolekularnym.

Uzyskane wyniki wskazują na zależne od rozmiaru cząstek i czasu ekspozycji, a w mniejszym stopniu od dawki, zmiany w funkcjonowaniu i organizacji komórek poddanych działaniu MNPs. Obserwowane efekty obejmowały zmiany w poziomie stresu oksydacyjnego i autofagii oraz reorganizację cytoszkieletu, przy czym opracowane narzędzia ilościowe pozwoliły na ich precyzyjną charakterystykę. Pomiary ramanowskie prowadzone w stanie uwodnionym, z wykorzystaniem obiektywu immersyjnego, umożliwiły uzyskanie przestrzennie rozdzielonych informacji o sygnałach pochodzących od cząstek i struktur komórkowych, bez konieczności odwodnienia badanego materiału. Pozwoliło to na precyzyjną lokalizację cząstek w obrębie komórek oraz analizę ich interakcji ze środowiskiem komórkowym. Połączenie mikroskopii ramanowskiej z obrazowaniem fluorescencyjnym i autorską analizą ilościową obrazów umożliwiło wieloaspektową charakterystykę oddziaływania MNPs z komórkami, łącząc informacje o lokalizacji i internalizacji cząstek z oceną towarzyszących im zmian funkcjonalnych i strukturalnych. Takie zintegrowane podejście stwarza nowe możliwości badania potencjalnych mechanizmów oddziaływania MNPs na komórki układu rozrodczego.

Podziękowania: Badania zostały częściowo zrealizowane przy wsparciu projektów Studenckiego Koła Naukowego KERMA, finansowanych w ramach Działania D12 „Integracja procesu kształcenia z badaniami naukowymi", konkursu „Wsparcie Kół Naukowych" – edycja V (2024/2025) oraz edycja VI (2025/2026), realizowanych w ramach programu Inicjatywa Doskonałości Uczelnia Badawcza AGH.

Strategie modyfikacji powierzchni nanocząstek tlenku żelaza w aspekcie zastosowań w obrazowaniu magnetycznorezonansowym

Tomasz Kubiak[1], Bernadeta Dobosz[1]

[1] Zakład Fizyki Materiałów Funkcjonalnych, Wydział Fizyki i Astronomii, UAM w Poznaniu

Cel: Celem badań było przygotowanie biozgodnych, funkcjonalizowanych, superparamagnetycznych nanocząstek tlenku żelaza do zastosowań w charakterze negatywnych środków kontrastujących w badaniach obrazowych metodą magnetycznego rezonansu jądrowego (MRI). Nanocząstki magnetytu, pozwalające na skrócenie czasu relaksacji poprzecznej T_2 (spin-spin) w miejscu nagromadzenia, nie tylko mogą stanowić bezpieczny środek modyfikujący właściwości magnetyczne tkanek, ale również posiadać rozszerzone możliwości teranostyczne.

Materiały i metody: Podczas eksperymentów przeprowadzano m.in. etapową funkcjonalizację powierzchni nanocząstek Fe_3O_4 za pomocą silanu CPTMS, do którego następnie przyłączono mPEG-NH_2 albo chitozan o średniej masie molowej. Do wytwarzania biozgodnych pokryć wykorzystywano również kwas cytrynowy albo dekstran. Właściwości uzyskanych nanostruktur badano m.in. z użyciem spektroskopii elektronowego rezonansu spinowego (ESR). Zastosowanie pułapek spinowych pozwoliło sprawdzić, czy obecność funkcjonalizowanych nanocząstek indukuje generowanie reaktywnych form tlenu w środowisku wodnym i fantomach agarowych. Wpływ nanocząstek Fe_3O_4 na czasy relaksacji w fantomach oceniono natomiast za pomocą impulsowej spektroskopii jądrowego rezonansu magnetycznego (NMR).

Wyniki: W rezultacie eksperymentów uzyskano wodne dyspersje superparamagnetycznych nanocząstek Fe_3O_4 o średnicy rdzeni z przedziału 20–30 nm i powłokach z cytrynianu, dekstranu, a także chitozanu i poli(glikolu polietylenowego) z łącznikiem silanowym. Scharakteryzowano właściwości materiału rdzenia nanocząstek, zbadano m.in. jego anizotropię magnetokrystaliczną oraz powierzchniową. Pokazano, że obecność superparamagnetycznych nanocząstek modyfikuje właściwości relaksacyjne ośrodka, a odpowiednia funkcjonalizacja powierzchni zwiększa biozgodność nanostruktur, zmienia ich parametry magnetyczne, a także ogranicza ryzyko generowania w ich obecności szkodliwych reaktywnych form tlenu.

Wnioski: Modyfikacja właściwości fizykochemicznych powierzchni nanocząstek tlenku żelaza poprzez dołączenie biozgodnego polimeru wpływa na ich właściwości magnetyczne oraz interakcje z otoczeniem biologicznym. Odpowiednio funkcjonalizowane superparamagnetyczne nanocząstki magnetytu mają potencjał do zastosowań biomedycznych jako negatywne środki kontrastujące w obrazowaniu MRI.

Podziękowanie: Badania zostały sfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu nr 2025/09/X/ST3/00576 (Miniatura 9).

Koncepcyjna architektura sprzętowa wielokanałowej platformy RF do realizacji beamformingu w adaptacyjnej hipertermii śródtkankowej zintegrowanej z brachyterapią HDR

Grzegorz Zwierzchowski[1], Grzegorz Bielęda[1]

[1] Katedra i Zakład Elektroradiologii, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, Zakład Brachyterapii, Wielkopolskie Centrum Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie w Poznaniu

Wstęp: Adaptacyjna hipertermia śródtkankowa wymaga precyzyjnego sterowania przestrzenną depozycją energii elektromagnetycznej w celu uzyskania terapeutycznego rozkładu temperatury przy jednoczesnym ograniczeniu nagrzewania tkanek zdrowych. Osiągnięcie tego celu wymaga niezależnego sterowania sygnałami zasilającymi poszczególne aplikatory, umożliwiającego realizację wielokanałowego beamformingu RF oraz przestrzenne kształtowanie rozkładu SAR (Specific Absorption Rate). Celem pracy jest przedstawienie koncepcji modułowej platformy sprzętowej przeznaczonej do realizacji adaptacyjnego beamformingu RF oraz przyszłej integracji z systemami planowania brachyterapii HDR.

Koncepcja platformy: Proponowana architektura opiera się na centralnym kontrolerze FPGA współpracującym z autonomicznymi modułami RF, z których każdy stanowi niezależny kanał RF (element macierzy nadawczej) współpracujący z pojedynczym aplikatorem śródtkankowym. Platforma umożliwia indywidualną regulację mocy, amplitudy, fazy i częstotliwości sygnału każdego kanału RF, pozwalając na dynamiczne kształtowanie rozkładu pola elektromagnetycznego oraz kontrolę przestrzennej depozycji energii.

Kontroler FPGA odpowiada za deterministyczną synchronizację kanałów RF, dystrybucję parametrów sterujących, zarządzanie konfiguracją systemu, akwizycję danych diagnostycznych oraz realizację sprzętowych mechanizmów bezpieczeństwa. Każdy kanał RF obejmuje generator DDS (Direct Digital Synthesis), układ regulacji amplitudy i fazy, stopień sterujący, wzmacniacz mocy oraz układ dopasowania do aplikatora. Synchronizacja generatorów realizowana jest z wykorzystaniem wspólnego wzorca częstotliwości o niskim jitterze oraz sprzętowych sygnałów synchronizujących, zapewniających zachowanie stabilnych relacji fazowych pomiędzy wszystkimi kanałami. Architektura przewiduje również możliwość zastosowania układów PLL w celu rozszerzenia zakresu częstotliwości roboczych.

Koncepcja zakłada indywidualną kalibrację każdego kanału RF poprzez kompensację odchyłek amplitudy i fazy wynikających z tolerancji elementów oraz zmian parametrów pracy. Umożliwia to zachowanie wysokiej zgodności parametrów emisji pomiędzy elementami macierzy nadawczej i stabilną realizację beamformingu.

Każdy kanał RF wyposażono w sprzęgacz kierunkowy umożliwiający ciągły pomiar mocy padającej i odbitej, ocenę dopasowania aplikatora oraz monitorowanie zmian impedancji podczas terapii. Architektura przewiduje również pomiar temperatury tranzystorów mocy, napięć zasilających, poboru prądu oraz parametrów pracy wzmacniaczy. Lokalna diagnostyka umożliwia wykrywanie utraty dopasowania, przeciążenia wzmacniaczy, przegrzania elementów mocy, nieprawidłowości zasilania oraz utraty synchronizacji kanałów.

Komunikację pomiędzy kontrolerem FPGA i modułami RF przewidziano z wykorzystaniem szybkich magistral cyfrowych, natomiast komunikację z komputerem nadrzędnym poprzez interfejs Ethernet. Architektura zakłada współpracę z systemami światłowodowego pomiaru temperatury FBG i DFOS oraz implementację wielopoziomowych sprzętowych mechanizmów zabezpieczających.

Wnioski: Przedstawiona koncepcja definiuje skalowalną architekturę sprzętową wielokanałowej platformy RF przeznaczonej do realizacji beamformingu w adaptacyjnej hipertermii śródtkankowej. Połączenie deterministycznego sterowania FPGA, synchronicznej generacji sygnałów DDS, niezależnych kanałów RF, indywidualnej kalibracji oraz zintegrowanej diagnostyki energetycznej tworzy podstawy do opracowania nowej generacji systemów termobrachyterapii umożliwiających adaptacyjne sterowanie rozkładem SAR i temperatury oraz integrację z planowaniem brachyterapii HDR.

CZWARTEK, SESJA: DIAGNOSTYKA OBRAZOWA

Zastosowania robotyki w medycynie, ze szczególnym uwzględnieniem radiologii

Zbigniew Nawrat[1]

[1] Zakład Biofizyki, Wydział Nauk Medycznych w Zabrzu, Śląski Uniwersytet Medyczny, Katowice, adiunkt w Międzynarodowym Stowarzyszeniu na rzecz Robotyki Medycznej, Prezydent Fundacji Rozwoju Kardiochirurgii im. prof. Zbigniewa Religi, ul. Wolności 345a, 41-800

Fizyka odegrała fundamentalną rolę w rozwoju biologii i medycyny, wprowadzając do opisu organizmu pomiar, liczbę i możliwość cyfrowej reprezentacji zjawisk. Pozwoliła również ujawnić struktury i procesy niedostępne ludzkim zmysłom. Zamieniła praktykę medyczną w medycynę jako naukę opartą na faktach. Zamiana obrazu na zbiór liczb umożliwiła wprowadzenie aparatu matematycznego, a następnie algorytmy oparte na sztucznej inteligencji (AI). Rozwój współczesnej robotyki medycznej jest naturalnym rozwinięciem tego procesu i pozostaje ściśle związany z postępem obrazowania, metod obliczeniowych oraz wiedzy o biologicznej odpowiedzi tkanek na oddziaływania fizyczne. Telemedycyna udowodniła już swoje fundamentalne znaczenie dla przesyłania na odległość informacji. Robotyka pozwala na odległość przenosić działania.

Promieniowanie rentgenowskie, ultradźwięki, rezonans magnetyczny, medycyna nuklearna i techniki optyczne dostarczają sygnałów, które dzięki metodom matematycznym mogą być przekształcane w obrazy i przestrzenne modele pacjenta. Model 3D staje się następnie mapą nawigacyjną: rejestracja przestrzeni obrazu, pacjenta, robota i narzędzia umożliwia planowanie trajektorii oraz prowadzenie instrumentów do struktur niewidocznych bezpośrednio dla operatora. Przykładem są roboty stosowane w chirurgii kręgosłupa i robotycznej bronchoskopii.

Zjawiska fizyczne mogą pełnić nie tylko funkcję diagnostyczną i nawigacyjną, lecz także terapeutyczną. Promieniowanie jonizujące, temperatura, światło, fale radiowe, mikrofale, ultradźwięki czy niskie temperatury mogą prowadzić do kontrolowanej ablacji lub modyfikacji tkanek. Robot staje się wówczas nie tylko precyzyjnym mechanizmem, ale systemem zdolnym do dostarczenia narzędzia lub energii do określonego celu przy ochronie struktur krytycznych.

Szczególna wartość robota medycznego ujawnia się wtedy, gdy wykorzystuje możliwości przekraczające zdolności ludzkich zmysłów i narządów ruchu: integruje wielomodalne dane, rekonstruuje modele 3D i 4D, działa w przestrzeniach trudno dostępnych i wykorzystuje zjawiska fizyczne w sposób niemożliwy do bezpośredniej realizacji przez człowieka. Rola robota staje się naprawdę istotna, gdy robi to, czego człowiek nie potrafi, a jeszcze bardziej – gdy potrafi współdziałać z człowiekiem w procesie.

Doświadczenia mojego zespołu twórców polskiego robota Robin Heart wskazują, że droga do większej autonomii powinna zaczynać się od funkcji bezpieczeństwa. W systemie Robin Heart Tele badano integrację obrazu, pomiaru siły i stanu zadania, rozpoznawanie zaburzeń przekazu wizyjnego, detekcję krwawienia, automatyczne przechodzenie do stanu bezpiecznego, wspomaganie lokalizacji miejsca krwawienia i koagulacji oraz ograniczanie skutków opóźnienia w teleoperacji. AI nie miała zastępować chirurga, lecz rozszerzać jego możliwości percepcyjne i wykonawcze oraz, w sytuacji utraty komunikacji, przejmować ograniczoną kontrolę we wcześniej określonym i zweryfikowanym zakresie. To pozwala na przejście z paradygmatu współpracy z robotem od master-slave do współczesnego master-partner.

Dalszy rozwój prowadzi od robotów mechanicznych i nawigowanych do systemów sensorycznych, adaptacyjnych i częściowo autonomicznych. Warunkiem autonomii jest zamknięcie pętli informacyjno-terapeutycznej: pomiar zjawiska fizycznego, jego obrazowanie i interpretacja biologiczna prowadzą do decyzji oraz działania robota, a uzyskany efekt biologiczny podlega ponownej ocenie. System przyszłości powinien więc nie tylko znać pozycję narzędzia, lecz także rozpoznawać stan tkanki, mierzyć wynik oddziaływania i modyfikować terapię.

Kierunek rozwoju to wsparta przez AI robotyka, która tworzy zintegrowany system zdolny do pozyskiwania i interpretacji informacji wykraczających poza ludzką percepcję, prowadzenia interwencji w trudno dostępnych obszarach oraz realizacji i potwierdzania mierzalnego efektu biologicznego w granicach bezpieczeństwa określonych przez człowieka.

DIAGNOMATIC
www.diagnomatic.com

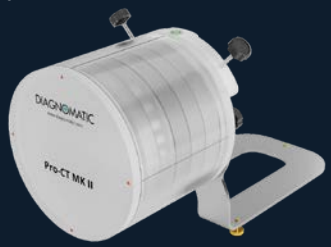
Zeskanuj kod — pełna specyfikacja
i formularz zapytania w każdym produkcie.

Pewność obrazu. Pewność terapii.

Pro-RT ED
07-601



Pro-CT MK II
04-410



Pro-CT MK II
umożliwia ocenę jakości obrazu.

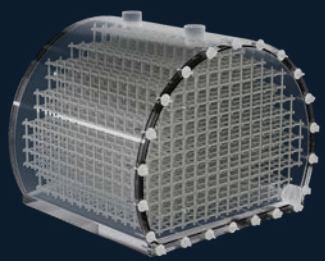
Pro-RT ED
pozwala wyznaczyć zależność między wartościami HU a gęstością elektronową tkanek.

Razem wspierają wiarygodne obrazowanie i precyzyjne obliczanie dawki w radioterapii.

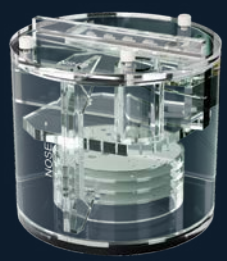
Pro-MRI ACR Medium
służy do kompleksowej kontroli jakości obrazowania MRI.

Pro-MRI Distortion
pozwala określić przestrzenny rozkład zniekształceń geometrycznych w dużym polu obrazowania, które mogą wynikać z niejednorodności pola magnetycznego i nieliniowości gradientów.

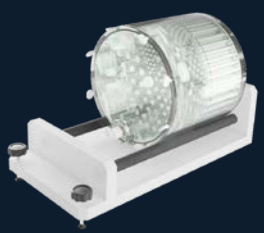
Pro-MRI Distortion
07-201



Pro-MRI ACR Medium
09-301



Pro-NM AutoMixer
08-199



Pro-CT Dose
04-203



Pro-RT Iso Beam
07-201



Pro-RT AlignCube 6DoF
07-201



Wszystkie urządzenia mają oznakowanie CE. Instrukcja zawiera metodykę wykonania każdego testu.
Diagnomatic od Pro-Project · zaprojektowane i produkowane w Polsce · ISO 9001 · ISO 13485 · ISO 14001 · ISO 45001 · ISO 27001
www.diagnomatic.com · contact@diagnomatic.com · +48 668 024 874

Implementacja sekwencji EPI 3D z technikami przyspieszania akwizycji na systemie 1,5 T do szybkiego obrazowania mózgu w diagnostyce stwardnienia rozsianego u dzieci

Kamil Cepuch[1], Sylwia Chełstowska[2], Jin Jin[1], Elżbieta Jurkiewicz[2]

[1] Siemens Healthineers, Siemens Healthcare AG, Erlangen, Germany;
[2] Instytut „Pomnik – Centrum Zdrowia Dziecka"

Cel: Celem pracy była ocena potencjału sekwencji EPI 3D z technikami przyspieszania akwizycji jako platformy do szybkiej akwizycji obrazów MR o zróżnicowanym kontraście oraz ocena jej użyteczności w diagnostyce stwardnienia rozsianego (SM) w populacji pediatrycznej. Szczególną uwagę poświęcono obrazowaniu T2*-zależnemu, susceptibility-weighted imaging (SWI) oraz danym potencjalnie przydatnym do rekonstrukcji quantitative susceptibility mapping (QSM). Dodatkowo wykonano badania prepilotażowe kontrastów T1, T2, FLAIR i TOF w celu eksploracji szerszego potencjału sekwencji. Istotnym uzasadnieniem pracy były ostatnie rewizje kryteriów McDonalda, podkreślające znaczenie biomarkerów podatnościowych, w tym central vein sign (CVS) i paramagnetic rim lesions (PRL), w diagnostyce SM, także w populacji pediatrycznej. Praca obejmuje pierwszą implementację i testy tej klasy rozwiązania na systemie 1,5 T, podczas gdy większość dotychczasowych doniesień dotyczy aparatury 3 T.

Materiał i metoda: Badania wykonano w Instytucie „Pomnik – Centrum Zdrowia Dziecka" w Warszawie na systemie MAGNETOM Sola 1,5 T firmy Siemens Healthineers. Przeprowadzone testy umożliwiły eksplorację potencjału sekwencji EPI 3D z technikami przyspieszania akwizycji jako rozwiązania do szybkiego obrazowania całego mózgowia przy zachowaniu wysokiej rozdzielczości przestrzennej. Ocenie poddano kompromis pomiędzy czasem badania, rozdzielczością przestrzenną, stabilnością fazy, podatnością na niejednorodności pola, zniekształceniami geometrycznymi oraz rozmyciem wynikającym z charakterystyki odczytu EPI. Analizę ukierunkowano na potencjalną przewagę EPI 3D nad klasycznym EPI 2D, które cechuje się większą podatnością na zniekształcenia w kierunku kodowania fazowego, oraz nad konwencjonalnym SWI, ograniczonym przez długi czas akwizycji, wrażliwość na ruch i jakościowy charakter kontrastu fazowego. Wykorzystano dostępne doniesienia dotyczące przyspieszonego obrazowania podatnościowego z użyciem segmentowanego EPI 3D oraz szybkiej rekonstrukcji QSM.

Wyniki: Przeprowadzone badania, mimo że wymagają dalszej optymalizacji parametrów akwizycji oraz przetestowania na większej liczbie pacjentów, wskazują na możliwość istotnego skrócenia czasu akwizycji przy zachowaniu informacji podatnościowej istotnej diagnostycznie. Jest to szczególnie ważne w kontekście oceny CVS i PRL, biomarkerów obrazowych o rosnącym znaczeniu w diagnostyce SM, które wykazują wysoką swoistość i mogą wspierać czułość diagnostyczną badań MR. Uzyskane obserwacje sugerują, że sekwencja EPI 3D z technikami przyspieszania akwizycji może zwiększać wykonalność obrazowania podatnościowego w populacji pediatrycznej, zwłaszcza poprzez ograniczenie wpływu ruchu i skrócenie czasu badania. Dodatkowo przeprowadzone testy kontrastów T1, T2, FLAIR i TOF rokują możliwość dalszej optymalizacji całego protokołu diagnostycznego oraz budowy bardziej zintegrowanego, czasowo efektywnego badania MR u dzieci.

Wnioski: Sekwencja EPI 3D z technikami przyspieszania akwizycji stanowi obiecującą platformę do szybkiego obrazowania podatnościowego mózgu w diagnostyce SM u dzieci, szczególnie w kontekście rosnącego znaczenia markerów CVS i PRL. Uzupełniające badania prepilotażowe T1, T2, FLAIR i TOF wskazują na możliwość dalszego rozszerzania zakresu jej zastosowań i optymalizacji całego protokołu diagnostycznego. Pierwsza implementacja i testy na systemie 1,5 T pokazują, że technika ta może być rozwijana również poza środowiskiem 3 T dominującym w dotychczasowych doniesieniach, jednak pełna ocena jej wartości diagnostycznej wymaga dalszych badań z udziałem większych grup pacjentów i standaryzacji parametrów rekonstrukcyjnych.

Konflikt interesów: KC i JJ są pracownikami firmy Siemens Healthineers, która udostępniła rozwiązanie prototypowe wykorzystane w projekcie. KC brał udział w akwizycji i analizie danych oraz w przygotowaniu materiałów prezentacyjnych i manuskryptu. Badanie nie było finansowane przez firmę.

Czy naprawdę można pracować bez osłon indywidualnych? Zastosowanie innowacyjnego systemu antyradiacyjnego Rampart podczas zabiegów z zakresu kardiologii zabiegowej

Joanna Kidoń-Szołtysek[1], Leszek Wojciuch[2], Marcin Brodecki[3], Marta Bujak[2], Jakub Jasiński[2], Wojciech Wojakowski[1], Paweł Gąsior[1]

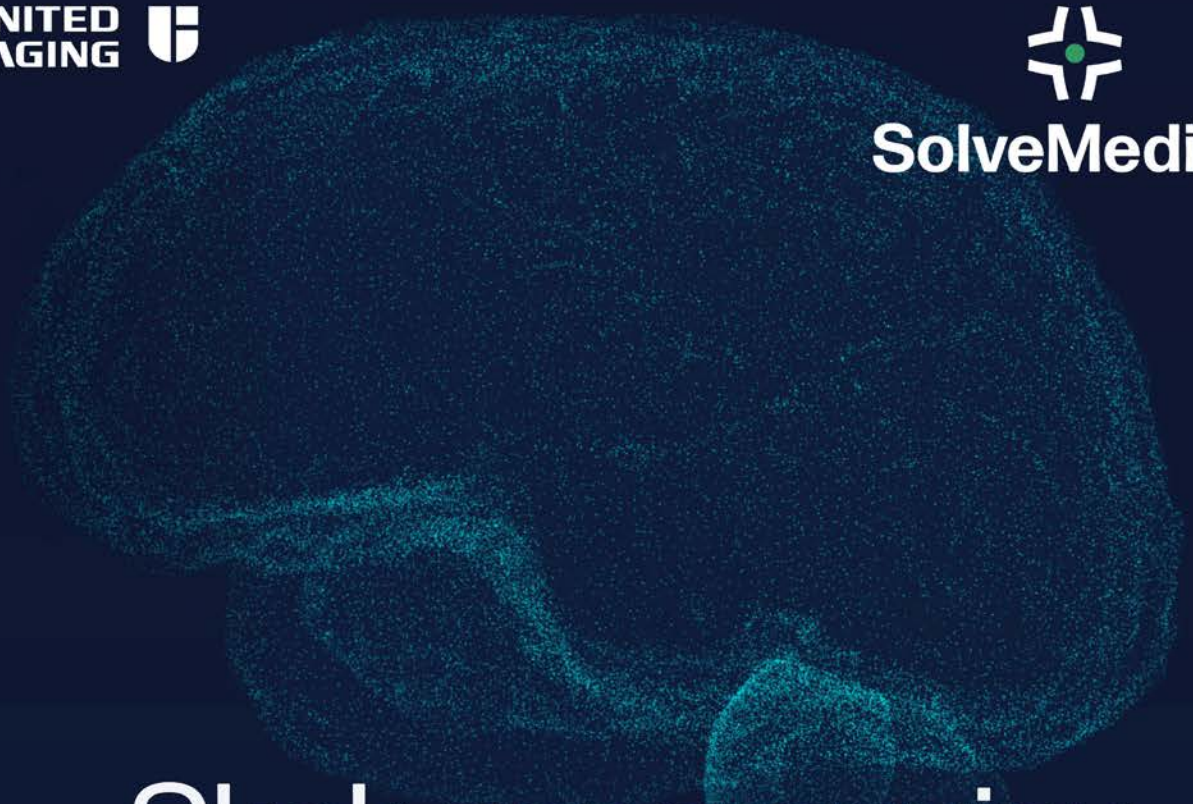
[1] Górnośląskie Centrum Medyczne, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach;
[2] Górnośląskie Centrum Medyczne w Katowicach;
[3] Instytut Medycyny Pracy imienia prof. dr. med. Jerzego Nofera

Cel: Celem wystąpienia jest omówienie procesu wdrożenia w pracowni kardiologii zabiegowej innowacyjnego systemu mobilnych osłon antyradiacyjnych.

Materiał i metody: Wdrożenie wykonano w Zakładzie Kardiologii Inwazyjnej Górnośląskiego Centrum Medycznego SUM w Katowicach. Badano wartość mocy dawki oraz dawkę przed

UNITED IMAGING

SolveMedical



Skok generacyjny w medycynie

Innowacyjne technologie obrazowania i kompleksowe wsparcie dla pracowni diagnostycznych.

MR — **PET/CT** — **CT**

TECHNOLOGIA NOWEJ GENERACJI
Zaawansowane rozwiązania obrazowania medycznego

KOMPLEKSOWE WDROŻENIA
Od projektu pracowni po instalację

CIĄGŁE WSPARCIE
Serwis i opieka po instalacji

Solve Medical Sp. z o.o.
ul. Gen. Orlicz-Dreszera 1 lok. 31
15-797 Białystok

www.solvemedical.pl

i za systemem mobilnych osłon antyradiacyjnych. Pomiary wykonano przy użyciu systemów dozymetrii aktywnej oraz termoluminescencyjnej. W procesie zastosowano metody badawcze oraz metody szkoleniowe. Pomiary przeprowadzono z użyciem fantomu antropomorficznego z zastosowaniem geometrii ustawień urządzenia rtg stosowanych podczas praktyki klinicznej, a także podczas rutynowych zabiegów kardiologicznych.

Wyniki: Zostaną omówione podczas prezentacji.

Wnioski: Osłony są bezpieczne, zgodne z normami i skuteczne. Niezbędne jest stosowanie systemu dozymetrii indywidualnej podczas pracy z systemem.

Zastosowanie systemu robotycznego R-One Robotic System w interwencjach sercowo-naczyniowych

Paweł Gąsior[1], Radosław Liszka[2], Marta Bujak[3], Joanna Kidoń-Szołtysek[3], Mariusz Gąsior[4], Dariusz Dudek[5], Maciej Wybraniec[6], Tomasz Skowerski[7], Krzysztof Wilczek[2], Janusz Szkodziński[2], Krzysztof Dyrbuś[2], Wojciech Wojakowski[3]

[1] Division of Cardiology and Structural Heart Diseases, Medical University of Silesia, Katowice, Poland;
[2] 3rd Department of Cardiology, Faculty of Medical Sciences in Zabrze, Medical University of Silesia, Katowice, Poland;
[3] Division of Cardiology and Structural Heart Diseases, Medical University of Silesia, Katowice, Poland;
[4] 3rd Department of Cardiology, Faculty of Medical Sciences in Zabrze, Medical University of Silesia, Katowice, Poland;
[5] Digital Medicine and Robotics Center, Jagiellonian University Medical College, Kraków, Poland;
[6] First Department of Cardiology, School of Medicine in Katowice, Medical University of Silesia, Katowice, Poland;
[7] Department of Cardiology, School of Health Sciences in Katowice, Medical University of Silesia, Katowice, Poland

Cel: Przezskórne interwencje wieńcowe (PCI) wiążą się z długotrwałą ekspozycją personelu na promieniowanie jonizujące oraz koniecznością stosowania ciężkich osłon ochronnych, co może sprzyjać rozwojowi schorzeń układu mięśniowo-szkieletowego. Systemy robotyczne mają potencjał ograniczenia tych zagrożeń, jednocześnie umożliwiając precyzyjną nawigację prowadników, balonów oraz stentów wewnątrz naczyń wieńcowych. Celem badania była ocena bezpieczeństwa i skuteczności systemu R-One podczas PCI oraz jego wpływu na narażenie operatora na promieniowanie.

Materiał i metoda: Przeprowadzono retrospektywną analizę danych z dwuośrodkowego rejestru Robo-SIL, obejmującego 29 pacjentów poddanych PCI z użyciem systemu R-One w dwóch ośrodkach w okresie od września 2023 do lipca 2024 r. Sukces techniczny definiowano jako przeprowadzenie zabiegu z zastosowaniem systemu robotycznego bez konieczności przejścia na technikę manualną, natomiast sukces kliniczny jako brak istotnych powikłań śródzabiegowych. Oceniono również zdarzenia sercowo-naczyniowe w obserwacji 6-miesięcznej. W jednym z ośrodków, z wykorzystaniem dozymetrii termoluminescencyjnej, wykonano pomiary dawek promieniowania dla soczewki oka i lewej ręki operatora systemu, operatora asystującego oraz pielęgniarki.

Wyniki: Średni wiek badanych wynosił 69,7±8,3 roku, a 65,5% grupy stanowili mężczyźni. Dostęp promieniowy wykorzystano w 75,9% procedur. Zmiany złożone typu B2/C stanowiły 41,4% leczonych zwężeń, a 13,8% zabiegów obejmowało pień lewej tętnicy wieńcowej. Średni czas procedury wynosił 43,4±13 min. Sukces techniczny uzyskano u 93,1%, a kliniczny u 96,6% pacjentów. U jednego chorego wystąpiła okluzyjna dyssekcja tętnicy wieńcowej po implantacji stentu; zdarzenie to nie było związane z funkcjonowaniem systemu robotycznego. W ciągu 6 miesięcy obserwacji nie odnotowano zgonów, zawałów mięśnia sercowego ani konieczności ponownej rewaskularyzacji leczonego naczynia lub zmiany. Analiza dozymetryczna wykazała ponad 90-procentowe zmniejszenie ekspozycji na promieniowanie u operatora pracującego przy konsoli w porównaniu z operatorem wykonującym czynności manualne oraz ponad 73-procentowe w porównaniu z pielęgniarką.

Wnioski: Robotycznie wspomagana PCI z użyciem systemu R-One pozwalała na skuteczne i bezpieczne leczenie zmian wieńcowych, w tym zmian o złożonej anatomii. Zdalne prowadzenie zabiegu z osłoniętej konsoli istotnie ograniczało narażenie operatora na promieniowanie jonizujące. Uzyskane wyniki wskazują, że technologia ta może stanowić wartościowe uzupełnienie współczesnej kardiologii interwencyjnej, zwłaszcza w kontekście poprawy ochrony radiologicznej i ergonomii pracy.

Porównanie technik tłumienia sygnału tkanki tłuszczu w rezonansie magnetycznym – skuteczność, jednorodność i odporność na artefakty

Monika Garczarek[1], Patrycja Mazgaj[1], Anna Hebda[1]

[1] Zakład Radiologii i Diagnostyki Obrazowej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział w Gliwicach

Cel: Celem pracy jest porównanie najczęściej stosowanych technik tłumienia sygnału tkanki tłuszczowej (FS) w obrazowaniu metodą rezonansu magnetycznego (MRI) ze szczególnym uwzględnieniem ich skuteczności, jednorodności, odporności na artefakty oraz możliwości zastosowania w praktyce klinicznej.

Materiał i metoda: Badania przeprowadzono w Zakładzie Radiologii i Diagnostyki Obrazowej NIO-PIB, Oddział w Gliwicach, na aparatach rezonansu magnetycznego o indukcji pola 1,5 T oraz 3 T. Analizie poddano rutynowe badania diagnostyczne wykonywane w pracowni w obrębie głowy i kręgosłupa (OUN), głowy i szyi, klatki piersiowej, jamy brzusznej, miednicy, stawów oraz tkanek miękkich. Porównano techniki: FatSat opartej na spektralnej saturacji tłuszczu, STIR (*Short Tau Inversion Recovery*), SPAIR (*SPectrally Adiabatic Inversion Recovery*), WE (*Water Excitation*) oraz DIXON. Obrazy poddano analizie jakościowej, uwzględniając sposób tłumienia sygnału tłuszczu, obecność artefaktów oraz wartość diagnostyczną uzyskanych obrazów MRI. Porównano również czas akwizycji i przydatność poszczególnych technik w badanych obszarach anatomicznych.

Wyniki: Nie istnieje jedna uniwersalna technika tłumienia sygnału tkanki tłuszczowej, która zapewniałaby optymalne rezultaty we wszystkich zastosowaniach klinicznych. Analizowane techniki wykazywały różną skuteczność i jednorodność tłumienia, która zależała między innymi od badanej okolicy, rodzaju sekwencji oraz jednorodności pól B_0 i B_1. Technika *FatSat* charakteryzuje się wysoką wydajnością i brakiem wpływu na kontrast, jednak jest najbardziej podatna na niejednorodności B_0 i B_1. *SPAIR* wykazuje mniejszą wrażliwość na niejednorodności B_1 i zapewnia skuteczne tłumienie tłuszczu bez wpływu na kontrast, jednak może wpływać na czas repetycji (TR) i akwizycji (TA). *STIR* jest odporny na niejednorodności B_0, lecz ma wpływ na kontrast i wymaga optymalizacji parametrów czasowych. Technika *WE* nie zależy od niejednorodności B_1, nie zmienia kontrastu tkanek, ale może powodować wydłużenie czasu echa (TE) oraz TR. Najmniejszą zależność od niejednorodności B_0 i B_1 ma technika DIXON, która dodatkowo pozwala na wygenerowanie osobno obrazów wody i tłuszczu oraz ich pomiaru.

Wnioski: Porównywane techniki należy traktować jako metody wzajemnie uzupełniające się o jednakowej przydatności. Ich dobór powinien zależeć od badanej okolicy, wskazania klinicznego oraz technicznych warunków akwizycji. Świadome wykorzystywanie właściwości poszczególnych technik pozwala ograniczyć artefakty, zmniejszyć ryzyko konieczności powtarzania sekwencji i uzyskać obrazy o wysokiej wartości diagnostycznej.

CZWARTEK, SESJA: FARU

Jak zwiększyć wykrywalność tętniaków wewnątrzczaszkowych z wykorzystaniem uczenia maszynowego

Patryk Jasik[1], Justyna Fercho[2]

[1] Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej, Politechnika Gdańska; Centrum BioTechMed, Politechnika Gdańska; Centrum Biomedycyny Kosmicznej i Ochrony Radiologicznej, Gdański Uniwersytet Medyczny;
[2] Kliniczny Oddział Ratunkowy, Uniwersyteckie Centrum Kliniczne w Gdańsku; Katedra i Klinika Medycyny Ratunkowej, Gdański Uniwersytet Medyczny; Klinika Neurochirurgii, 10 Wojskowy Szpital Kliniczny z Polikliniką SPZOZ w Bydgoszczy

Wprowadzenie i cel: Tętniak wewnątrzczaszkowy może rozwijać się przez wiele lat bez wyraźnych objawów, a jego pierwszą manifestacją bywa zagrażające życiu krwawienie podpajęczynówkowe. Podstawą diagnostyki pozostają badania obrazowe, jednak nie mogą one pełnić funkcji powszechnego badania przesiewowego. Czy zatem informacje zapisane w rutynowych wynikach badań krwi mogą wcześniej wskazać pacjentów wymagających szczególnej uwagi? Celem projektu prowadzonego przez zespoły GUMed, UCK i Politechniki Gdańskiej jest sprawdzenie, czy sztuczna inteligencja może wykorzystać dane laboratoryjne w dwóch uzupełniających się zadaniach: identyfikacji osób o profilu podobnym do pacjentów z rozpoznanym tętniakiem oraz rozróżnianiu przedzdarzeniowych profili pacjentów z tętniakami pękniętymi i niepękniętymi.

Materiał i metody: W pierwszym scenariuszu zastosowano modelowanie Positive–Unlabeled, przydatne wtedy, gdy dysponujemy grupą pacjentów z potwierdzonym rozpoznaniem, ale nie mamy pewności, które osoby w pozostałej populacji są rzeczywiście zdrowe. Surowe zbiory obejmowały 73 679 rekordów z Klinicznego Oddziału Ratunkowego oraz 7655 rekordów pacjentów z potwierdzonym tętniakiem. Dane poddano czyszczeniu, redukcji wpływu wielokrotnych wizyt, eliminacji wartości odstających, imputacji oraz selekcji cech. Klasyfikator LightGBM uczono w schemacie Positive–Unlabeled, a jego zdolność do odnajdywania ukrytych przypadków oceniano poprzez zamaskowanie etykiet 20% pacjentów z potwierdzoną diagnozą. Porównano dwa warianty selekcji parametrów: oparty na testach statystycznych oraz na dywergencji Kullbacka–Leiblera.

Drugi scenariusz dotyczył pacjentów z tętniakami pękniętymi i niepękniętymi. Spośród danych 2095 osób wyodrębniono wyniki laboratoryjne dostępne przed rozpoznaniem tętniaka, leczeniem lub rozpoznaniem krwawienia podpajęczynówkowego. Po filtracji czasowej i przygotowaniu danych końcowy zbiór obejmował 706 obserwacji pacjent–miesiąc–rok pochodzących od 333 pacjentów. Zastosowano modele LightGBM, XGBoost i TabNet, a podział danych przeprowadzano na poziomie pacjenta.

Wyniki: W modelowaniu Positive–Unlabeled najlepszy okazał się zredukowany wariant LightGBM wykorzystujący cechy wybrane na podstawie dywergencji Kullbacka–Leiblera. Osiągnął on skuteczność identyfikacji zamaskowanych pacjentów wynoszącą 91,03% oraz czułość 88,92%. Model wskazał również 783 osoby ze zbioru pacjentów nieoznaczonych jako wymagające dalszej weryfikacji, przy czym wskazania te nie oznaczają potwierdzenia diagnozy. W tych badaniach największe znaczenie miały m.in. parametry układu krzepnięcia (INR i WPT) oraz wiek i kreatynina.

W klasyfikacji profili tętniaków pękniętych i niepękniętych uzyskano ROC-AUC około 0,75, zbalansowaną dokładność 0,73 oraz czułość od 0,61 do 1,00. Do cech najczęściej wpływających na decyzje modeli należały: glukoza, płytki krwi, kreatynina, sód i wiek pacjenta.

Wnioski: Oba doświadczenia pokazują, że rutynowe wyniki laboratoryjne zawierają sygnały, które mogą zostać wykorzystane na różnych etapach oceny pacjenta, od wskazania osób o profilu podobnym do pacjentów z tętniakiem po analizę różnic między tętniakami pękniętymi i niepękniętymi. Modele nie zastępują obrazowania i nie wyznaczają jeszcze indywidualnego prawdopodobieństwa wystąpienia choroby ani pęknięcia. Mogą jednak stać się podstawą przyszłego narzędzia wspomagającego kwalifikowanie pacjentów do pogłębionej diagnostyki. Konieczne są dalsze badania prospektywne, walidacja wieloośrodkowa, kalibracja oraz integracja wyników laboratoryjnych z danymi klinicznymi i obrazowymi.

Od radioterapii do kosmosu – jak technologie medyczne wspierają eksplorację kosmosu, a medycyna kosmiczna zmienia opiekę nad pacjentem

Jakub Mieczkowski[1]

[1] GUMed

Współczesna fizyka medyczna rozwija narzędzia, które coraz częściej wykraczają poza klasyczne zastosowania kliniczne. Radioterapia, planowanie dawki, obrazowanie medyczne, kontrola jakości, dozymetria, modelowanie transportu promieniowania i radiobiologia stanowią dziś nie tylko fundament leczenia nowotworów, ale także ważny punkt odniesienia dla ochrony zdrowia człowieka w przestrzeni kosmicznej. Szczególne znaczenie mają tu zagadnienia dobrze znane fizykom medycznym: precy-

zyjna ocena ekspozycji, indywidualna wrażliwość na promieniowanie, skutki biologiczne dawki, ochrona tkanek krytycznych oraz modelowanie ryzyka odległych następstw zdrowotnych.

Wykład prowadzi od radioterapii, onkologii i fizyki promieniowania do medycyny kosmicznej, pokazując wspólne problemy obu obszarów: promieniowanie jonizujące, biodozymetrię, biologiczne skutki ekspozycji, ochronę radiologiczną i predykcję ryzyka nowotworowego. Równocześnie odwraca tę perspektywę i pokazuje, jak wyzwania misji kosmicznych mogą inspirować rozwiązania przydatne w opiece nad pacjentem na Ziemi, takie jak zdalne monitorowanie zdrowia, integracja danych obrazowych i molekularnych, diagnostyka w warunkach ograniczonych zasobów oraz modele predykcyjne wspierające decyzje kliniczne.

Tak ujęta medycyna kosmiczna nie jest odległą specjalizacją związaną wyłącznie z astronautami, lecz wymagającym laboratorium przyszłej opieki zdrowotnej. Łączy precyzyjną ocenę ryzyka, personalizację ochrony przed promieniowaniem, monitorowanie stanu zdrowia i pracę z danymi wielowymiarowymi. W tym obszarze kompetencje fizyków medycznych mogą mieć znaczenie zarówno dla bezpieczeństwa misji kosmicznych, jak i dla rozwoju nowoczesnej diagnostyki, terapii i opieki nad pacjentem na Ziemi.

Fizyka medyczna jako przestrzeń integracji środowisk akademickich, klinicznych, sektora ochrony zdrowia i otoczenia społeczno-gospodarczego

Justyna Strankowska[1]

[1] Uniwersytet Gdański, Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki, Instytut Fizyki Doświadczalnej, Zakład Biomateriałów i Fizyki Medycznej

Dynamiczny rozwój technologii medycznych oraz rosnące zapotrzebowanie na wysoko wykwalifikowaną kadrę sprawiają, że współczesna fizyka medyczna nie może rozwijać się w izolacji. Skuteczne kształcenie specjalistów, prowadzenie projektów badawczych oraz wdrażanie innowacji w tej dziedzinie wymagają budowania silnych relacji wykraczających poza mury uczelni. Sprawdzone praktyki i model wielowymiarowej współpracy, zbudowane wokół prowadzonego wspólnie przez Uniwersytet Gdański oraz Gdański Uniwersytet Medyczny kierunku fizyka medyczna, czynią tę dyscyplinę naturalną platformą integracji nauki, medycyny i biznesu.

Jednym z kluczowych filarów tej integracji jest współpraca dydaktyczna, ukierunkowana na ścisłe powiązanie teorii z praktyką kliniczną. Niezwykle ważnym elementem procesu kształcenia pozostaje bezpośrednie zaangażowanie ekspertów z sektora ochrony zdrowia, przede wszystkim praktykujących fizyków medycznych oraz przedstawicieli otoczenia społeczno-gospodarczego. Prowadzenie zajęć przez praktyków gwarantuje aktualność przekazywanej wiedzy i doskonałe przygotowanie absolwentów do wejścia na rynek pracy. Ten aplikacyjny wymiar edukacji realizowany jest również poprzez ścisłą współpracę przy tworzeniu prac magisterskich, z których znaczna część powstaje bezpośrednio w jednostkach medycznych. Pozwala to studentom na rozwiązywanie rzeczywistych problemów klinicznych pod okiem doświadczonych mentorów.

Kolejnym aspektem skutecznie integrującym środowisko są cykliczne spotkania „Pomerania Fiz-Med". Inicjatywa ta stanowi unikalną przestrzeń wymiany myśli, doświadczeń i potrzeb pomiędzy światem akademickim, fizykami medycznymi pracującymi w szpitalach oraz przedstawicielami firm z branży technologii medycznych. Wydarzenia te nie tylko ułatwiają nawiązywanie kontaktów badawczo-wdrożeniowych, ale również skutecznie budują poczucie wspólnoty zawodowej w regionie.

Nie do przecenienia jest również społeczny wymiar funkcjonowania kierunku oraz rola inicjatyw studenckich, które stanowią naturalny pomost między uczelnią a jej otoczeniem. Działalność Koła Naukowego Fizyków Medycznych Siwert, w tym realizacja innowacyjnego projektu DRON, ukazuje ogromny potencjał integracyjny młodych badaczy. Aktywność studentów, obejmująca organizację prelekcji ekspertów z branży oraz czynny udział w wydarzeniach otwartych, pełni kluczową rolę w popularyzacji fizyki medycznej w społeczeństwie.

Wielopłaszczyznowe podejście do dydaktyki, integracja środowiska oraz szeroki wymiar społeczny tych działań bezpośrednio przyczyniają się do podniesienia jakości kształcenia i generowania innowacji, które stanowią precyzyjną odpowiedź na realne potrzeby współczesnej medycyny.

Minimalny protokół kontroli jakości dla narzędzi sztucznej inteligencji w radiologii. Propozycja możliwa do wdrożenia w warunkach krajowych

Marlena Rygusik[1]

[1] Interdyscyplinarne Pomorskie Centrum Medycyny Cyfrowej, Gdański Uniwersytet Medyczny

Cel: Celem pracy jest zaproponowanie minimalnego, wykonalnego protokołu kontroli jakości (QA) dla narzędzi opartych na sztucznej inteligencji (AI) stosowanych w radiologii. Punktem wyjścia jest obserwacja, że istniejące wytyczne opisują, co należy kontrolować, lecz rzadko wskazują zakres możliwy do realiza-

cji w typowej pracowni, dysponującej ograniczonymi zasobami i bez dostępu do dużych zbiorów referencyjnych.

Materiał i metoda: Protokół opracowano na podstawie aktualnych wytycznych dotyczących oceny oprogramowania AI oraz wymogów regulacyjnych (MDR i AI Act), a następnie oceniono pod kątem praktycznej wykonalności w środowisku klinicznym. Z pełnego zakresu zaleceń wyodrębniono czynności o najwyższym stosunku wartości do nakładu pracy, możliwe do wykonania przez fizyka medycznego we współpracy z zespołem klinicznym.

Wyniki: Zaproponowano protokół złożony z pięciu elementów. (1) Kwalifikacja narzędzia jako warunek wstępny: potwierdzenie przeznaczenia, statusu regulacyjnego i klasy wyrobu oraz dostępności dokumentacji producenta o zbiorze treningowym. Brak kompletu informacji wstrzymuje wdrożenie. (2) Walidacja lokalna: test na referencyjnym zbiorze badań ośrodka, porównanie z odczytem referencyjnym, ocena czułości, swoistości i zgodności oraz analiza przypadków błędnych. Kryterium akceptacji ustala się wspólnie z zespołem klinicznym przed testem. (3) Integracja: zdefiniowanie progu decyzyjnego, ustalenie roli narzędzia w toku pracy (wspomaganie czy działanie autonomiczne) oraz procedury postępowania przy awarii lub niedostępności narzędzia. (4) Monitoring ciągły: okresowy ponowny test na nowym zbiorze danych, śledzenie wskaźnika wykryć i rozkładu danych wejściowych pod kątem dryfu oraz rejestr zdarzeń niepożądanych. (5) Dokumentacja i odpowiedzialność: karta narzędzia AI, przypisanie fizykowi medycznemu roli koordynatora QA oraz coroczny przegląd. Dla każdego elementu wskazano proponowaną częstość wykonywania i minimalny zakres, tak aby protokół pozostał wykonalny bez dodatkowych zasobów.

Wnioski: Zaproponowany protokół pokazuje, że odpowiedzialna kontrola jakości narzędzi AI jest możliwa również w pracowniach o ograniczonych zasobach, pod warunkiem skupienia się na kilku kluczowych czynnościach zamiast na pełnym zakresie zaleceń. Fizyk medyczny jest naturalnym koordynatorem takiego procesu. Protokół ma charakter transferowalny i może stanowić punkt wyjścia do wypracowania krajowych, jednolitych zasad QA dla narzędzi AI w radiologii.

Niskodawkowa tomografia komputerowa (LDCT) w badaniach przesiewowych raka płuca – wyznaczenie lokalnych poziomów referencyjnych

*Paulina **Pięta***[1]

[1] Uniwersyteckie Centrum Kliniczne w Gdańsku

Celem pracy było wyznaczenie lokalnych poziomów referencyjnych (DRL) dla badań niskodawkowej tomografii komputerowej (LDCT) klatki piersiowej, stosowanej w programach badań przesiewowych raka płuca, oraz ocena przydatności ich wyznaczania w optymalizacji parametrów ekspozycji.

Do analizy retrospektywnej włączono 9900 badań tomografii komputerowej (TK) klatki piersiowej wykonanych z zastosowaniem protokołu niskodawkowego (LDCT) w latach 2019–2026. Badania przeprowadzono w Zakładzie Radiologii Uniwersyteckiego Centrum Klinicznego w Gdańsku z wykorzystaniem sześciu aparatów tomograficznych różnych generacji, wyprodukowanych przez firmy Siemens oraz GE. Uwzględnienie badań pochodzących z różnych systemów obrazowania umożliwiło analizę zmienności parametrów ekspozycji zależnych od zastosowanej technologii. Główną grupę badaną stanowili pacjenci uczestniczący w programach przesiewowych w kierunku raka płuca. Do badań kwalifikowano osoby powyżej 50. roku życia, należące do grupy wysokiego ryzyka rozwoju raka płuca. Protokół LDCT miał na celu maksymalne obniżenie dawki promieniowania przy jednoczesnym zachowaniu odpowiedniej jakości diagnostycznej obrazów. Dla wszystkich badań zarejestrowano podstawowe wskaźniki dawki promieniowania, takie jak tomograficzny wskaźnik dawki objętościowej (CTDIvol) oraz iloczyn dawki i długości skanowania (dose-length product, DLP). Na ich podstawie oszacowano dawkę efektywną, stosując odpowiednie współczynniki przeliczeniowe. Zebrane dane poddano analizie statystycznej o charakterze opisowym. Obliczono miary tendencji centralnej, w tym wartości średnie, mediany oraz trzeci kwartyl (Q3) dla parametrów CTDIvol, DLP oraz dawki efektywnej.

Wartości Q3 parametrów CTDIvol, DLP oraz dawki efektywnej wykazywały zróżnicowanie w zależności od zastosowanego aparatu oraz parametrów akwizycji, jednak mieściły się w zakresach referencyjnych, osiągając często wartości zbliżone do ich górnych granic.

Badania LDCT stanowią skuteczne narzędzie wczesnego wykrywania raka płuca u pacjentów z grupy wysokiego ryzyka, umożliwiając identyfikację zmian w stadiach potencjalnie wyleczalnych. Analiza wykazała, że wartości wskaźników narażenia na promieniowanie jonizujące (CTDIvol, DLP oraz dawka efektywna) mieszczą się w zakresach wartości referencyjnych określanych w rekomendacjach międzynarodowych (takich jak: ESTI – European Society of Thoracic Imaging; AAPM – American Association of Physicists in Medicine; ACR – American College of Radiology), pozostając jednak w ich górnych granicach, co wskazuje na potrzebę dalszej optymalizacji stosowanych protokołów. Zaobserwowana zmienność pomiędzy aparatami wskazuje na konieczność ujednolicenia parametrów badań. Zgodnie z wytycznymi zaleca się optymalizację CTDIvol względem masy ciała (ESTI), utrzymanie DLP na poziomie około 75 mGy · cm oraz dawki efektywnej ≤ 1 mSv (AAPM), a także stosowanie CTDIvol ≤ 3 mGy (ACR). Wyniki podkreślają znaczenie ciągłego monitorowania parametrów ekspozycji oraz dalszej standaryzacji protokołów w praktyce klinicznej.

Structural MRI Data Quality: A Repeatability and Reproducibility Evaluation

Agnieszka Sabisz[1], Harri Merisaari[2], Ekaterina Saukko[3], Teija Sainio[4]

[1] Gdański Uniwersytet Medyczny;
[2] 1 Turku Brain and Mind Center, University of Turku, Finland 2 Department of Radiology, Turku University Hospital and University of Turku, Turku, Finland;
[3] Department of Radiology, Turku University Hospital and University of Turku, Turku, Finland;
[4] 1 Department of Medical Physics, Turku University Hospital, University of Turku, Turku, Finland

Objective: High-quality data are essential for training artificial intelligence systems and for the accurate identification of patterns and structures in radiomics. . To enable the widespread application of such solutions, signal intensity in each imaging sequence must be reproducible and repeatable across different scanners . The aim of this study was to assess the repeatability and reproducibility of MRI-derived markers acquired using the OMRICN project imaging protocol, which includes super-resolution images, which has potential to improve the visualization of fine anatomical structures, enhance tissue delineations, increases the detection of subtle features, and enable more accurate morphometric and radiomic analyses.

Methods: Thirteen participants underwent two MRI examinations on three different 3T MRI scanners (Siemens MAGNETOM SkyraFit, GE Signa Premier, Philips Ingenia Elition X). The imaging protocol included volumetric T1-weighted (T1w) imaging, as well as T1w turbo spin echo (TSE) and T2w TSE sequences acquired at different resolutions (matrix sizes: 128, 256, and 512, transaxial resolutions 1.5mm, 0.75mm, and 0.375mm, respectively, slice thickness 1.5 mm). For each TSE sequence, several regions of interest (ROIs) were defined, covering six anatomical structures and background regions (white matter, gray matter, cerebrospinal fluid, putamen, caudate nucleus, thalamus, and noise). For the volumetric T1w sequence, brain structure volumes were determined using FreeSurfer 8.2.0 .

For each structure and sequence, mean values, coefficients of variation (CoV), and intraclass correlation coefficients (ICC) were calculated.

Results: Repeatability ICC(3,1) values were calculated for T1w TSE and T2w TSE sequences at each resolution, while reproducibility ICC(2,1) values were determined for tissue contrasts and resolutions across scanners, modalities, and resolutions. Repeatability was lower in T2w images than in T1w images. In centrally located white matter regions (e.g., thalamus and putamen), repeatability decreased with increasing noise levels. Brain structure volumes showed CoV values ranging from 0.5% to 7%. Detailed results will be presented during the conference presentation.

Conclusions: The repeatability and reproducibility of a set of MRI-derived markers acquired according to the study imaging protocol were evaluated. The variability observed within the same scanner was comparable to the variability observed between different scanners. Overall, the results demonstrate high reproducibility and repeatability, as well as low variability of signal intensity and brain structure volume measurements in T1w and T2w sequences acquired using the project protocol across three MRI systems.

CZWARTEK, SESJA: PROJEKTY NAUKOWE

Metody wyznaczania dawki skumulowanej w procedurach ponownego napromieniania w Polsce – badanie ankietowe i wieloośrodkowa analiza przypadków klinicznych PTFM

Agnieszka Skrobała[1], Anna Zawadzka[2], Piotr Andrzejewski[3], Michał Posiewnik[4], Joanna Kamińska[4], Tomasz Piotrowski[1]

[1] Wielkopolskie Centrum Onkologii;
[2] Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie;
[3] Uniwersytecki Szpital Kliniczny nr 1 PUM w Szczecinie;
[4] Gdański Uniwersytet Medyczny / Uniwersyteckie Centrum Kliniczne, Gdańsk

Cel: Głównym celem badania jest charakterystyka aktualnej praktyki klinicznej stosowanej w polskich ośrodkach radioterapii w zakresie metod wyznaczania dawki skumulowanej u pacjentów poddawanych ponownemu napromienianiu. Analizie podlegać będą również sposoby szacowania i analizowania skumulowanych dawek w narządach krytycznych (OAR).

Dodatkowym celem jest odniesienie praktyk stosowanych w Polsce do zaleceń technicznych opracowanych przez ESTRO Reirradiation Focus Group i opublikowanych przez Appelt i wsp. [1]. Badanie jest realizowane w ramach Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej, z dobrowolnym udziałem krajowych ośrodków radioterapii.

Materiał i metody: Badanie składa się z dwóch części: kwestionariusza ankietowego oraz analizy wybranych przypadków klinicznych w formie badania porównawczego (benchmark study).

Kwestionariusz obejmuje 32 pytania podzielone na pięć obszarów tematycznych: (1) charakterystykę ośrodka, (2) praktykę kliniczną w zakresie ponownego napromieniania, (3) wykorzystywane systemy planowania leczenia i oprogramowanie, (4) metody wyznaczania dawki skumulowanej oraz (5) wewnętrzne procedury i wytyczne kliniczne.

W części obejmującej analizę przypadków klinicznych wykorzystane zostaną trzy zanonimizowane zestawy danych DICOM reprezentujące złożone scenariusze ponownego napromieniania w obszarze głowy i szyi, płuca oraz jamy brzusznej. Uczestniczące ośrodki przeprowadzą rejestrację obrazów i sumowanie dawek zgodnie z metodami rutynowo stosowanymi w danym ośrodku oraz, jeśli będzie to możliwe, z wykorzystaniem innych dostępnych rozwiązań. Następnie przedstawią wskazane parametry dozymetryczne.

Analizie porównawczej podlegać będą zastosowane metody rejestracji obrazów, sposoby sumowania dawek, wykorzystywane modele radiobiologiczne (EQD2 i BED), wartości przyjętych parametrów radiobiologicznych oraz zastosowane współczynniki regeneracji tkanek TRF (tissue recovery factor).

Oczekiwane wyniki i wnioski: Badanie umożliwi charakterystykę praktyk oraz możliwości technicznych dostępnych w polskich ośrodkach radioterapii w zakresie rejestracji obrazów i wyznaczania dawki skumulowanej w procedurach ponownego napromieniania.

Zebrane dane pozwolą na odniesienie praktyk stosowanych w Polsce do zaleceń ESTRO Reirradiation Focus Group dotyczących technicznych aspektów wyznaczania dawki skumulowanej.

Wyniki mogą stanowić punkt wyjścia do opracowania rekomendacji PTFM wspierających zespoły interdyscyplinarne w wyznaczaniu dawki skumulowanej, podejmowaniu decyzji klinicznych oraz analizie ryzyka związanego z ponownym napromienianiem.

Wyniki zostaną przedstawione w formie zbiorczej i zanonimizowanej. Przedstawiciele ośrodków uczestniczących w części analitycznej zostaną uwzględnieni jako współautorzy zgodnie z ich wkładem w realizację projektu.

Literatura:

[1] Appelt AL, Andrzejewski P, Hoffmann L, et al. Cumulative dose evaluation in clinical reirradiation – consensus guidance on technical considerations by the ESTRO Reirradiation Focus Group. Radiother Oncol. 2025. PMID: 41318002.

Aktualna praktyka kliniczna wykorzystania radioterapii sterowanej obrazem powierzchni ciała pacjenta w polskich ośrodkach radioterapii jako podstawa do opracowania krajowych zaleceń PTFM i PTE

Agnieszka Skrobała[1], Karol Szymerkowski[2], Aneta Kawa-Iwanicka[3], Marek Szewczuk[4], Marzena Suska[5], Agata Owsik-Nowak[6], Magdalena Rozwód[7], Joanna Kamińska[8]

[1] Zakład Fizyki Medycznej, Wielkopolskie Centrum Onkologii, Poznań Katedra i Zakład Elektroradiologii, Uniwersytet Medyczny w Poznaniu;
[2] Vision RT;
[3] Affidea NU-MED Centrum Diagnostyki i Terapii Onkologicznej, Katowice;
[4] Narodowy Instytut Onkologii – PIB, Oddział w Gliwicach;
[5] Centrum Radioterapii i Onkologii Affidea Nu Med w Elbląg;
[6] Specjalistyczny Szpital im. dr. Alfreda Sokołowskiego w Wałbrzychu;
[7] Ośrodek Radioterapii Wielospecjalistycznego Szpitala Wojewódzkiego w Gorzowie Wlkp.;
[8] Pracownia Fizyki Medycznej, Uniwersyteckie Centrum Kliniczne, Gdańsk, Katedra i Klinika Onkologii i Radioterapii, Uniwersytet Medyczny w Gdańsku

Cel: Radioterapia sterowana obrazem powierzchni ciała pacjenta (SGRT, surface guided radiation therapy) jest coraz częściej wykorzystywana w radioterapii do pozycjonowania pacjenta, monitorowania ruchu w czasie rzeczywistym, kontroli oddechu oraz realizacji procedur wysokospecjalistycznych. Pomimo rosnącego znaczenia tej technologii w Polsce brakuje jednolitych zaleceń dotyczących jej wdrażania, zastosowania klinicznego, kontroli jakości oraz integracji z radioterapią sterowaną obrazem (IGRT, image-guided radiation therapy). Celem badania jest charakterystyka aktualnej praktyki wykorzystania SGRT w polskich ośrodkach radioterapii oraz identyfikacja obszarów wymagających standaryzacji jako podstawa do opracowania krajowych zaleceń PTFM i PTE.

Materiał i metody: Badanie ma charakter ankietowy i jest skierowane do ośrodków radioterapii, które wykorzystują lub planują wdrożenie SGRT. Kwestionariusz obejmuje doświadczenie zespołu, wyposażenie aparaturowe, stosowane systemy SGRT, kalibrację, zakres zastosowania klinicznego, etapy procesu leczenia oraz kontrolę oddechu. Uwzględniono również technikę napromieniania na głębokim wstrzymanym wdechu (DIBH, deep inspiration breath-hold), bramkowanie oddechowe, automatyczne zatrzymanie wiązki, procedury stereotaktyczne, zakresy tolerancji, wybór referencji DICOM lub referencji powierzchniowej SGRT, integrację z protokołami IGRT, raportowanie, organizację pracy, szkolenia oraz najczęstsze błędy i ograniczenia. Odpowiedzi powinny być przygotowane interdyscyplinarnie, a wyniki będą analizowane zbiorczo.

Oczekiwane wyniki i wnioski: Badanie pozwoli określić stopień wdrożenia SGRT w polskich ośrodkach radioterapii, różnice w organizacji pracy klinicznej, stosowanych procedurach, zakresach tolerancji, kontroli jakości oraz integracji z IGRT. Oczekuje się, że wyniki wskażą obszary wymagające ujednolicenia oraz bariery ograniczające pełne wykorzystanie SGRT w codziennej praktyce klinicznej. Zebrane dane, zestawione z analizą literatury oraz istniejących wytycznych [1], będą praktyczną podstawą do opracowania zaleceń PTFM i PTE wspierających standaryzację wdrażania SGRT, poprawę bezpieczeństwa pacjentów, jakość pozycjonowania oraz spójność postępowania klinicznego w polskich ośrodkach radioterapii.

[1] Freislederer P, Batista V, Öllers M, et al. ESTRO-ACROP guideline on surface guided radiation therapy. *Radiotherapy and Oncology.* 2022;173:188–196. doi:10.1016/j.radonc.2022.05.026.

Aspekty ochrony radiologicznej obrazowania CBCT w radioterapii – projekt CBCT-PL

Piotr Pankowski[1], Anna Zygmuntowicz-Piętka[2], Adam Płoszaj[3], Kinga Polaczek-Grelik[4], Piotr Jankowski[5], Joanna Kamińska[6], Bartosz Pawałowski[7], Łukasz Albiniak[1]

[1] Uniwersytet Łódzki, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej;
[2] Narodowy Instytut Onkologii – Państwowy Instytut Badawczy, Pracownia Dozymetrii i Planowania Leczenia Zakładu Fizyki Medycznej;
[3] Zakład Radioterapii Dzieci i Dorosłych, Uniwersytecki Szpital Dziecięcy w Krakowie;
[4] Affidea NU-Med Centrum Diagnostyki i Terapii Onkologicznej Katowice, Zakład Fizyki Medycznej;
[5] Katowickie Centrum Onkologii;
[6] Gdański Uniwersytet Medyczny, Katedra i Klinika Onkologii i Radioterapii;
[7] Wielkopolskie Centrum Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie

Wykorzystanie pełnego potencjału radioterapii wymaga precyzyjnego naprowadzenia wiązki promieniowania i częstej kontroli ułożenia pacjentów. Powszechnie stosowaną w tym celu metodą jest obrazowanie wykonywane bezpośrednio przed lub w trakcie leczenia. Uzyskane obrazy weryfikacyjne mogą jednak narażać zdrowe tkanki otaczające guz na dodatkowe promieniowanie. Chociaż dawki stosowane w obrazowaniu są znacznie niższe niż dawki terapeutyczne, to objętości napromieniowane są większe, a powtarzająca się ekspozycja wiąże się z niepomijalnym ryzykiem indukcji wtórnych nowotworów oraz innych późnych następstw promieniowania. Problem ten dotyczy szczególnie młodszych pacjentów, dla których przewidywana długość życia jest większa. Tomografia komputerowa wiązki stożkowej (CBCT) wykorzystująca systemy kilowoltowe zamontowane na akceleratorach linio-

SIM PLAN TREAT DOSE

alignrt®

SGRT FOR FRAMELESS, OPEN-MASK SRS AND SBRT/SABR



Published outcomes, accuracy and patient comfort data in SRS and SBRT

AlignRT® provides greater patient comfort with an open-faced mask and faster treatment times, with comparable outcomes to frame-based SRS[1]

AAPM-TG302/ESTRO-ACROP compliant motion **monitoring accuracy** at all couch/gantry angles and skin tones.

The most rigorous of the ESTRO-ACROP/AAPM-TG302 SGRT guidelines for SRS require a tracking accuracy of ≤ 0.5mm / ≤0.5° in phantoms, including consideration for potential camera occlusions.

AlignRT delivers a tracking accuracy of ≤0.5mm / ≤0.2° at all couch and gantry angles. AlignRT accuracy is not affected by skin tone.

alignrt®
MORE THAN
750 CENTERS
USING ALIGNRT FOR SRS

" At our clinic, SGRT with AlignRT is the standard way to treat trigeminal neuralgia."

Todd Pawlicki, PhD, FAAPM, FASTRO
Director of Medical Physics

alignrt®

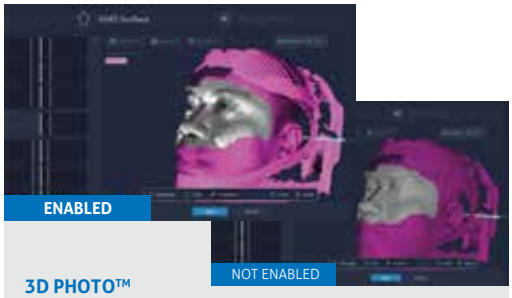
- **5-YEAR** data showing positive outcomes for benign skull-base lesions[3]
- **1-YEAR** data showing comparable outcomes to framebased and frameless approaches for brain metastases[1,4]
- **Proven accuracy:** 16 papers supporting the accuracy of trigeminalneuralgia[2,5,6] and AlignRT for SRS[5,7,8-19]
- **Experienced SRS physicist support** from Vision RT available during training



"AlignRT surface guided radiation therapy is accurate, efficient, and comfortable for patients. The fact that we can achieve SRS-level accuracy with an efficient setup and deliver while providing optimal comfort for the patient is a game-changer for radiation therapy. We have been using this approach for frameless SRS for over 10 years now and couldn't imagine doing it any other way."

Todd Pawlicki, PhD, FAAPM, FASTRO
Director of Medical Physics

THE ALIGNRT® ADVANCE SRS MODULE INCLUDES:



3D PHOTO™
Clearly identify obstructions when selecting regions for tracking



STEREOTACTIC MODULE

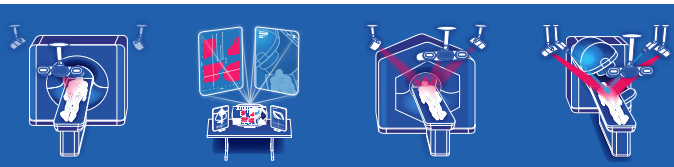


CALIBRATION CUBE
Ensure non-coplanar accuracy at all couch rotations



HEAD ADJUSTER
Allows the precise corrections of pitch, yaw and roll

Guidance for EVERY step



Discover more at **www.visionrt.com**

visionrt | Guiding Radiation Therapy™

Please find references at VisionRT.com/References.
©2025 Vision RT Ltd, All rights reserved.
1016-0302 Issue 3.0

wych jest obecnie najpowszechniej stosowaną metodą weryfikacji w radioterapii prowadzonej pod kontrolą obrazowania (IGRT). W przeciwieństwie do radiologii diagnostycznej, gdzie parametry obrazowania są optymalizowane w ramach ochrony radiologicznej pacjentów, w ośrodkach radioterapii często stosuje się domyślne protokoły dostarczane przez producentów z ograniczoną optymalizacją. Ponadto informacje dotyczące dawek związanych z obrazowaniem metodą CBCT, stanowiące warunek wstępny takiej optymalizacji, często nie są dostępne.

W wystąpieniu omówione zostaną wstępne wyniki uzyskane w ramach badania ankietowego przeprowadzonego w zakładach radioterapii w Polsce. Przedstawione zostaną analizy w zakresie częstości wykonywanego obrazowania CBCT, stosowanych protokołów, optymalizacji i stosowanych procedur. Powyższy projekt powstał w ramach działalności Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej z inicjatywy kilku bezpośrednio zaangażowanych zakładów radioterapii. Kolejna faza projektu przewidziana w 2027 roku zakłada przeprowadzenie kampanii pomiarowej dawek dla wybranych zastosowań CBCT. Uzyskane wyniki wykorzystane zostaną na potrzeby oceny dawek dla pacjentów, opracowania zaleceń w zakresie optymalizacji protokołów oraz wyznaczenia poziomów referencyjnych dawek. Więcej informacji o projekcie i możliwości uczestnictwa można uzyskać, kontaktując się bezpośrednio z autorem (1).

Wieloośrodkowa ocena metod dozymetrycznych w radioterapii stereotaktycznej z wykorzystaniem fantomu RUBY

Joanna Kamińska[1], Michał Posiewnik[1], Kacper Grosz[2], Agnieszka Orzechowska[3], Sebastian Maleszka[3], Janusz Winiecki[3], Marta Kruszyna-Mochalska[4], Paweł Wołowiec[5], Maciej Raczkowski[6], Marzena Janiszewska[6], Rafał Mężykowski[7], Andrzej Blukis[7], Marek Rygielski[8]

[1] Gdański Uniwersytet Medyczny / Uniwersyteckie Centrum Kliniczne, Gdańsk;
[2] Uniwersyteckie Centrum Kliniczne, Gdańsk;
[3] Centrum Onkologii im. prof. F. Łukaszczyka, Bydgoszcz;
[4] Wielkopolskie Centrum Onkologii, Poznań;
[5] Świętokrzyskie Centrum Onkologii, Kielce;
[6] Dolnośląskie Centrum Onkologii, Pulmonologii i Hematologii, Wrocław;
[7] Affidea NU-MED, Elbląg;
[8] Affidea NU-MED, Tomaszów Mazowiecki

Cel: Celem projektu jest przeprowadzenie wieloośrodkowej weryfikacji dozymetrycznej w radioterapii stereotaktycznej z wykorzystaniem fantomu RUBY, filmów radiochromowych Gafchromic EBTXD oraz detektorów OSL. Badanie ma umożliwić ocenę zgodności pomiędzy rozkładem dawki obliczonym w systemie planowania leczenia (TPS) a wynikami niezależnych pomiarów dozymetrycznych. Dodatkowo oceniona zostanie zmienność międzyośrodkowa oraz wpływ czynników związanych z planowaniem, obliczaniem dawki, weryfikacją i realizacją napromieniania. Osobnym elementem projektu będzie ocena dawki związanej z obrazowaniem CBCT podczas pozycjonowania fantomu.

Materiał i metoda: Badanie zostanie przeprowadzone w ośrodkach radioterapii z wykorzystaniem fantomu RUBY Modular QA Phantom (PTW, Freiburg). Każdy z uczestniczących ośrodków otrzyma identyczny zestaw danych w standardzie DICOM, obejmujący przekroje tomograficzne fantomu oraz plik zawierający uprzednio zdefiniowane objętości tarczowe i struktury pomocnicze (RT Structure). Na tej podstawie każdy ośrodek przygotuje w lokalnie wykorzystywanym systemie planowania leczenia (TPS) plan stereotaktyczny zgodny z założeniami projektu oraz uwzględniający przyjęte procedury wewnętrzne ośrodka. Zgromadzone będą szczegółowe informacje dotyczące stosowanego systemu planowania, algorytmu obliczeniowego dawki, techniki napromieniania, parametrów przygotowanego planu oraz obowiązujących w ośrodku procedur kontroli jakości (QA).

Każdy przygotowany plan zostanie poddany weryfikacji dozymetrycznej według obowiązujących procedur w danym ośrodku. Niezależna część pomiarowa obejmie ocenę dwuwymiarowego rozkładu dawki z wykorzystaniem filmów radiochromowych Gafchromic EBT-XD oraz pomiar dawki punktowej komorą jonizacyjną. Przy użyciu detektorów OSL oceniona zostanie dawka związana z procedurą obrazowania CBCT. Dane DICOM RT, wyniki lokalnej kontroli jakości oraz wyniki pomiarów zostaną poddane analizie międzyośrodkowej według przyjętej metodologii.

Wyniki: W ramach projektu oceniona zostanie zgodność obliczeń TPS z niezależnymi pomiarami dozymetrycznymi oraz zakres zmienności wyników pomiędzy uczestniczącymi ośrodkami. Analizie poddany zostanie potencjalny wpływ zastosowanych systemów planowania, algorytmów obliczeniowych, technik napromieniania oraz lokalnych procedur QA na uzyskiwane wyniki. Porównanie kilku niezależnych metod pomiarowych umożliwi ocenę zgodności zarówno w zakresie przestrzennego rozkładu dawki, jak i dawki punktowej. Odrębnej analizie zostanie poddana dawka związana z obrazowaniem CBCT. Projekt ma charakter pilotażowy i pozwoli ocenić, czy wykorzystanie filmów radiochromowych Gafchromic oraz standaryzowanej procedury pomiarowej może stanowić podstawę do opracowania ogólnopolskiego programu zewnętrznej weryfikacji dozymetrycznej dla technik stereotaktycznych.

Wnioski: Rezultatem projektu będzie opracowanie ujednoliconej metodologii wieloośrodkowej weryfikacji dozymetrycznej, umożliwiającej kompleksową kontrolę jakości procesu radioterapii stereotaktycznej – od planowania i obliczania rozkładu dawki, przez weryfikację i realizacji napromieniania – w warunkach klinicznych różnych ośrodków. Uzyskane wyniki umożliwią identyfikację potencjalnych źródeł rozbieżności oraz ocenę zmienności międzyośrodkowej. W dalszej perspektywie projekt może stanowić podstawę do opracowania ogólnopolskiego programu zewnętrznej weryfikacji dozymetrycznej oraz rekomendacji PTFM dotyczących kontroli jakości i niezależnej weryfikacji dozymetrycznej w technikach radioterapii wysokoprecyzyjnej.

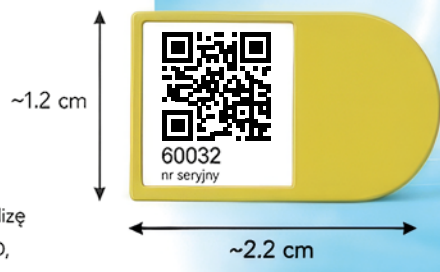
Ashland™
always solving

NOWOŚĆ
w rodzinie
Gafchromic™

Nowa era dozymetrii

Nowe rozwiązanie w szybkiej weryfikacji dawki —
bez kompromisów w precyzji.

pnt-dos™



Nowy system dozymetrii *in vivo*, który dzięki dedykowanemu oprogramowaniu znacząco przyspiesza i upraszcza odczyt oraz analizę dawki w porównaniu z innymi metodami dozymetrii *in vivo* (np. TLD, OSL) – prostota użycia i szybkość pracy z systemem tam, gdzie liczy się efektywność zespołu.

SZYBKI ODCZYT
wynik w ciągu kilku minut od naświetlenia

ŁATWA OBSŁUGA
protokół jednego skanu

WYSOKA DOKŁADNOŚĆ
±10 cGy (dawki <80 cGy) i ±5% (dawki 80–400 cGy)* w połączeniu z oprogramowaniem FilmQA Pro™

NIEZAWODNA KONTROLA
wsparcie procedur kontroli jakości (QA) aparatury i planu leczenia

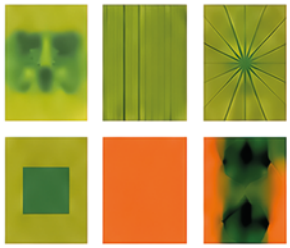
PEWNOŚĆ W KAŻDYM PUNKCIE
dozymetria tam, gdzie jej potrzebujesz

* Dokładność potwierdzona dla zakresu dawek 15–400 cGy wg dokumentacji producenta i niezależnych badań walidacyjnych.

Sprawdzone rozwiązania. Referencyjna jakość. Gafchromic™.

FILMY GAFCHROMIC™

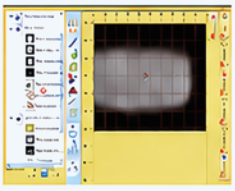
Do radioterapii
- EBT4
- EBT3P
- EBT-XD
- HD-V2
- MD-V3
- RTQA2
- Gafchromic™ CK



Do radiologii
- LD-V1
- XR-CT3
- XR-RV3
- XR-M3
- XR-SP2
- i inne

ZASTOSOWANIA

- Kontrola jakości w mammografii
- Kontrola jakości we fluoroskopii (dawka na skórę)
- Dozymetria *in vivo* pacjenta i testy end-to-end
- Kontrola jakości w tomografii komputerowej (szerokość wiązki)
- Brachyterapia
- Radioterapia stereotaktyczna (SRS/SBRT)



FilmQA Pro™

Zaawansowane oprogramowanie dla pełnej kontroli jakości

- ✓ Protokół jednego skanu
- ✓ Dozymetria trójkanałowa
- ✓ Łatwa kalibracja całej partii filmu
- ✓ Wbudowane moduły QA
- ✓ Rozpoznawanie błędów dawki

Wysoka rozdzielczość
rozdzielczość submilimetrowa (≤ 25 µm)

PROSTOTA UŻYCIA
do światła dziennego, wodoodporne, bez obróbki chemicznej

GĘSTOŚĆ ZBLIŻONA DO TKANKI
niezależna od kąta padania wiązki

pnt-dos™

Nowe rozwiązanie w szybkiej dozymetrii.
Zaufaj rodzinie Gafchromic™.

Autoryzowana dystrybucja w Polsce
MEDSERVICE®

Medservice Sztandar Sp. z o.o.
ul. Bojkowska 59 C, 44-100 Gliwice | tel. +48/ 32 604 19 10
mail: info@medspro.pl | www.medspro.pl

PIĄTEK, SESJA: MEDYCYNA NUKLEARNA

Nowelizacja Rozporządzenia w sprawie testów eksploatacyjnych w medycynie nuklearnej

Krzysztof Matuszewski[1]

[1] Zakład Fizyki Medycznej, Wielkopolskie Centrum Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie

Ciągły postęp w technologii obrazowania, zmiany w rozwiązaniach konstrukcyjnych współczesnych systemów oraz aktualizacja międzynarodowych zaleceń wskazują na potrzebę dostosowania obowiązujących zapisów zawartych w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 12 grudnia 2022 r. w sprawie testów eksploatacyjnych urządzeń radiologicznych i urządzeń pomocniczych do obecnych wymagań dotyczących kontroli jakości aparatury stosowanej w medycynie nuklearnej

W wystąpieniu przedstawione zostaną propozycje zmian do wymagań dotyczących testów eksploatacyjnych w medycynie nuklearnej, opracowane wspólnie przez Sekcję Fizyki Medycznej Polskiego Towarzystwa Medycyny Nuklearnej oraz Polskie Towarzystwo Fizyki Medycznej.

Omówione zostaną m.in. propozycje ujednolicenia terminologii, częstotliwości wykonywania testów, modyfikacji sposobu wyznaczania wartości referencyjnych, dostosowania metod kontroli do specyfiki współczesnych urządzeń oraz ograniczenia obowiązkowych testów, których wykonywanie nie wnosi istotnej informacji o rutynowym działaniu systemu.

Celem wystąpienia jest przedstawienie najważniejszych zmian oraz ich uzasadnienia, a także wskazanie, w jaki sposób proponowane zapisy mogą wpłynąć na codzienną organizację kontroli jakości w pracowniach medycyny nuklearnej. Szczególny nacisk zostanie położony na równowagę pomiędzy wymaganiami formalnymi, rzeczywistą wartością diagnostyczną poszczególnych testów, możliwościami współczesnej aparatury oraz odpowiedzialnością fizyka medycznego za zapewnienie właściwej jakości i bezpieczeństwa procedur medycyny nuklearnej.

Wpływ schematu obliczeń Monte Carlo na wyniki indywidualnej dozymetrii w terapii radiofarmaceutykami

Ziemowit Pietrucha[1], *Piotr Tulik*[1], *Krzysztof Mikołajczyk*[2]

[1] Politechnika Warszawska;
[2] KM2DO, Warszawa

Cel: Celem pracy była ocena wpływu sposobu uwzględnienia kinetyki radiofarmaceutyku na wyniki indywidualnej dozymetrii opartej na symulacjach Monte Carlo (MC). Porównano dwa schematy wyznaczania dawki pochłoniętej stosowane w dozymetrii wokselowej oraz odniesiono uzyskane wyniki do klasycznego formalizmu MIRD realizowanego z wykorzystaniem programu IDAC. Dodatkowym celem było określenie, czy podejście wykorzystujące obraz skumulowanej aktywności prowadzi do wyników równoważnych z obliczeniami uwzględniającymi symulację MC dla każdego z punktów czasowych.

Materiał i metoda: Analizę przeprowadzono na danych SPECT/CT pięciu pacjentów poddanych terapii radiofarmaceutykami znakowanymi ^{177}Lu. Wykorzystano środowisko obliczeniowe MolFus integrujące procedury korejestracji badań z wielu punktów czasowych, wyznaczania skumulowanej aktywności oraz obliczeń Monte Carlo realizowanych z użyciem kodu PHITS (*Particle and Heavy Ion Transport code System*). Porównano trzy podejścia do wyznaczania dawki pochłoniętej:

1) symulację Monte Carlo dla obrazu skumulowanej aktywności (MCA),
2) symulację Monte Carlo wykonywaną dla każdego punktu czasowego z następczą integracją przestrzennych rozkładów mocy dawki w czasie zgodnie z zaleceniami MIRD Pamphlet No. 23 (MCD),
3) metodę MIRD opartą na wartościach S z wykorzystaniem programu IDAC.

Analizie poddano średnie dawki pochłonięte w nerkach i wątrobie oraz przestrzenne rozkłady dawki.

Dla przyjętej konfiguracji obliczeniowej wykorzystującej 75 milionów iteracji uzyskano czas obliczeń rzędu 10 minut przy zachowaniu akceptowalnego poziomu niepewności statystycznej.

Wyniki: Nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic pomiędzy wynikami uzyskanymi metodami MCA i MCD ani dla nerek, ani dla wątroby. Analiza Blanda-Altmana wykazała wysoką zgodność obu podejść oraz brak systematycznego błędu zależnego od wartości dawki. Odmienne wyniki uzyskano podczas porównania metod Monte Carlo z formalizmem MIRD. Dla wątroby różnice nie osiągnęły istotności statystycznej, natomiast dla nerek wykazano istotną statystycznie różnicę ($p < 0,05$), wartości dawek wyznaczone metodami Monte Carlo były wyższe od wartości z programu IDAC średnio o 5 Gy. Wyniki te wskazują na istotny wpływ indywidualnej anatomii pacjenta na ocenę dawki w narządach krytycznych.

Wnioski: Sposób uwzględnienia zmienności aktywności w czasie nie wpływa istotnie na wyniki dozymetrii Monte Carlo w analizowanej grupie pacjentów. Sugeruje to możliwość stosowania uproszczonego podejścia opartego na obrazie skumulowanej

ALL-ENERGY ENHANCEMENT FOR VERITON-CT

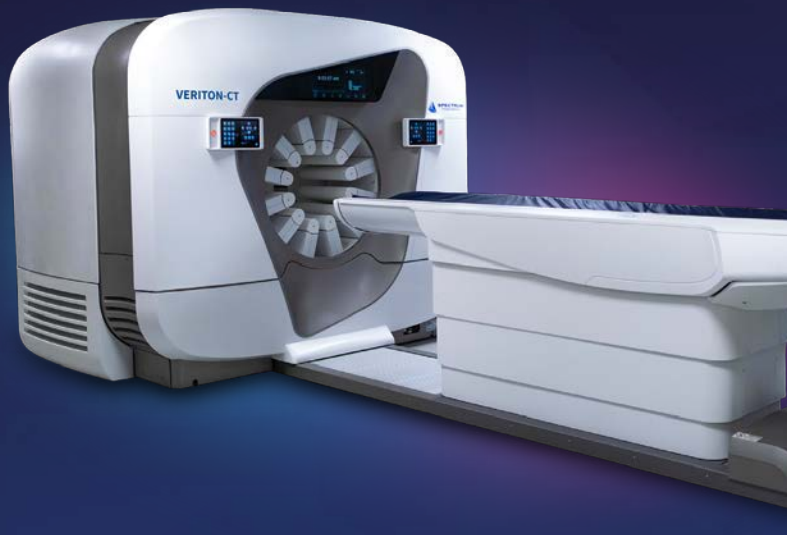
SPECTRUM DYNAMICS MEDICAL

Theranostics Has Outgrown Conventional Imaging Platforms

Theranostics is evolving quickly. Many systems support only part of the isotope spectrum, creating workflow complexity and limiting future program growth.

Introducing the All-Energy Enhancement for the VERITON-CT 400 Series

The proven VERITON-CT platform now supports the full range of clinically relevant therapeutic isotopes, from Tc-99m and I-123 to Lu-177, I-131, and emerging alpha emitters, with consistent digital performance across the spectrum.



One platform | **One collimator** | **All SPECT procedures**

One system designed to support today's therapies and tomorrow's opportunities, without adding scanners or changing workflows.

360-degree digital CZT SPECT/CT with twelve swiveling detectors for close-proximity, whole-body imaging in a single scan.

Image the full therapeutic spectrum, from Tc-99m and I-123 to Lu-177, I-131, and emerging alpha emitters, on a single platform.

Consistent quantitative accuracy, image quality, and energy resolution across all clinically available isotopes to support growing theranostics programs.

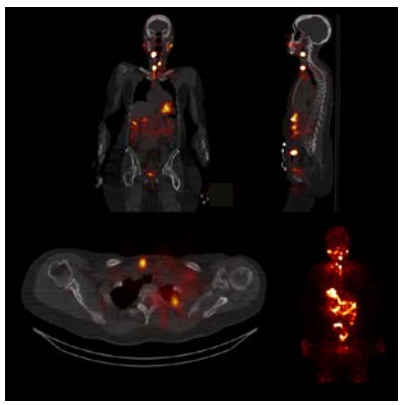
Proven Digital SPECT Leadership

Purpose-built integration of collimation, shielding, CZT detection, and reconstruction delivers high-energy capability without added workflow complexity.

Built on over 25 years of digital SPECT innovation, from D-SPECT® to VERITON-CT®, extending a proven digital imaging legacy.

A Platform Designed to Grow with Your Theranostics Program

- Available now, with initial customer installations already underway.
- Supports both new system purchases and eligible VERITON-CT 400 upgrades.
- Broader commercial availability anticipated in Q4 2026.



*34.1 mCi whole-body therapeutic imaging on VERITON-CT 400 with **all-energy enhancement***

Contact your local Spectrum Dynamics Medical representative to learn more.

spectrum-dynamics.com

aktywności bez utraty dokładności obliczeń. Jednocześnie wykazano istotne różnice pomiędzy wynikami uzyskiwanymi metodami Monte Carlo i formalizmem MIRD dla nerek. Uzyskane rezultaty potwierdzają zasadność stosowania indywidualnej dozymetrii opartej na danych obrazowych pacjenta, szczególnie w ocenie dawek w narządach krytycznych podczas terapii radiofarmaceutykami.

Wpływ metody podawania ^{177}Lu-DOTATATE na narażenie dłoni personelu medycyny nuklearnej – wyniki z dwóch polskich ośrodków na tle badań europejskich

Łukasz Albiniak[1]
[1] Uniwersytet Łódzki

Wstęp: W ostatnich latach obserwuje się dynamiczny rozwój terapii radioizotopowych z wykorzystaniem ^{177}Lu-DOTATATE, co wiąże się ze wzrostem liczby wykonywanych procedur oraz koniecznością optymalizacji ochrony radiologicznej personelu medycyny nuklearnej. Dotychczasowe badania wykazały, że narażenie rąk zależy od organizacji pracy, stosowanych osłon oraz sposobu przygotowania i podawania radiofarmaceutyku. Nadal jednak dostępnych jest niewiele danych dotyczących rozkładu dawek na poszczególnych palcach dłoni oraz porównania różnych technik administracji.

Cel pracy: Ocena narażenia dłoni personelu podczas przygotowania i podawania ^{177}Lu-DOTATATE z zastosowaniem metody grawitacyjnej, pompy infuzyjnej oraz podania manualnego, a także porównanie uzyskanych wyników z najnowszymi badaniami europejskimi.

Materiał i metody: Badania przeprowadzono w dwóch polskich zakładach medycyny nuklearnej. Do oceny narażenia wykorzystano wysokoczułe detektory termoluminescencyjne MCP-N (LiF,Cu,P), umieszczone na opuszkach wszystkich palców oraz u podstawy palca środkowego obu rąk. Pomiary wykonano u fizyków i radiofarmaceuty przygotowujących radiofarmaceutyk oraz u pielęgniarek i lekarza uczestniczących w jego podawaniu pacjentom. Wyznaczono wartości równoważnika dawki osobistej $H_p(0,07)$, znormalizowane do podanej aktywności (μSv/GBq). Analizę przeprowadzono oddzielnie dla etapu przygotowania i administracji radiofarmaceutyku.

Wyniki: Najwyższe wartości $H_p(0,07)$/GBq odnotowano podczas manualnego podawania ^{177}Lu-DOTATATE. Maksymalne wartości wyniosły 26,95 μSv/GBq podczas przygotowania oraz 40,23 μSv/GBq podczas administracji. Najniższe wartości uzyskano dla metody grawitacyjnej, często zbliżone do granicy wykrywalności detektorów, natomiast zastosowanie pompy infuzyjnej skutkowało wartościami pośrednimi. Największe narażenie dotyczyło opuszek kciuka i palca wskazującego. Porównanie z najnowszymi badaniami europejskimi wykazało zgodność obserwowanych trendów dotyczących wpływu techniki podawania na narażenie dłoni.

Wnioski: Technika podawania ^{177}Lu-DOTATATE istotnie wpływa na wielkość narażenia dłoni personelu medycyny nuklearnej. Metoda grawitacyjna oraz pompa infuzyjna pozwalają ograniczyć narażenie w porównaniu z podaniem manualnym. Uzyskane wyniki są zgodne z obserwacjami prezentowanymi w najnowszej literaturze międzynarodowej, a dzięki szczegółowej analizie rozkładu dawek na poszczególnych palcach stanowią jej cenne uzupełnienie i mogą zostać wykorzystane do optymalizacji procedur terapeutycznych oraz zasad ochrony radiologicznej personelu.

Korekcja ruchu pacjenta w badaniu 18F-FDG PET/CT u dzieci i młodych dorosłych z lekooporną padaczką

Aleksandra Łosiewicz[1], *Jakub Baran*[2], *Anna Śliwińska*[1], *Katarzyna Kotulska-Jóźwiak*[1]
[1] Instytut Pomnik – Centrum Zdrowia Dziecka, Warszawa, Polska;
[2] Siemens Healthcare Sp. z o.o., Warszawa, Polska

Cel: Badanie 18F-FDG PET mózgu odgrywa kluczową rolę w przedoperacyjnej diagnostyce lekoopornej padaczki (DRE) u pacjentów pediatrycznych. Artefakty ruchowe są częste i mogą wpływać na wyniki ilościowe, nawet gdy obraz wydaje się akceptowalny wizualnie. Celem pracy było porównanie badań 18F-FDG PET rekonstruowanych z i bez prototypu naukowego służącego do korekcji ruchu mózgu BMC (ang. *Brain Motion Correction*), ze szczególnym uwzględnieniem analizy ilościowej oraz jakościowej.

Materiał i metody: Analizę przeprowadzono na podstawie badań mózgu 18F-FDG PET/CT w trybie list-mode u 43 pacjentów (4–33 lata; mediana 13 lat) w trakcie przedoperacyjnej oceny padaczki. Rekonstrukcję danych PET wykonano z użyciem i bez użycia prototypu naukowego BMC. Kolejnym krokiem było przeprowadzenie nieliniowej normalizacji do atlasu 18F-FDG PET zgodnego z atlasem MNI152. Regiony zainteresowania (ROI) zdefiniowano na podstawie atlasu Harvard–Oxford dla atlasu MNI152. Maksymalne wartości wychwytu (Bq/ml) normalizowano względem istoty szarej móżdżku. Asymetrię ROI obliczano jako bezwzględny stosunek różnic między wartościami po stronie lewej i prawej (wskaźnik asymetrii, AI). Skrajne wartości asymetrii definiowano jako AI < 0,25 lub AI > 3,0 i agregowano

LabLogic | medical RADIOPHARMA

PRECYZYJNA CHROMATOGRAFIA TLC DLA ALFA-EMITERÓW.

Scan-RAM 2 z detektorem ZnS

Niezawodne rozwiązanie do analizy radiofarmaceutyków znakowanych alfa-emiterami.



Dowiedz się więcej

Skontaktuj się z nami w celu dopasowania systemu dla Twojego oddziału.

www.merad.pl
+48 697 002 376
info@merad.pl

na poziomie pacjenta. W celu uniknięcia pseudoreplikacji analizę zależności między nasileniem ruchu (liczba ram ruchowych wykrytych przez BMC) a parametrami ilościowymi (liczba wartości odstających, maksymalna i medianowa ekstremalność asymetrii: max |log(AI)|) przeprowadzono na poziomie pacjenta z użyciem korelacji Spearmana. Analizę jakościową wykonało niezależnie dwóch doświadczonych lekarzy medycyny nuklearnej, stosując 5-punktową skalę Likerta. Zgodność między obserwatorami oceniono współczynnikiem κ Cohena z wagami kwadratowymi. Niegorszość (ang. *non-inferiority*) prototypu BMC testowano jednostronnym testem rang Wilcoxona (margines 0,5; próg 2,5).

Wyniki: Zgodność między obserwatorami była umiarkowana (κ = 0,59; p < 0,001). Mediana ocen wskazała brak różnicy w 73,8% przypadków, poprawę w 9,5% (ocena ≥ 4) oraz pogorszenie w 2,4% (ocena ≤ 2). Nie stwierdzono systematycznej zmiany względem kategorii „brak różnicy" (p = 0,15), natomiast potwierdzono niegorszość BMC ($p = 4{,}22 \times 10^{-8}$). Analiza ilościowa wykazała 217 zdarzeń skrajnej asymetrii, z czego 65,1% stanowiły wysokie wartości odstające (AI > 3). Ruch najczęściej występował w osi SI (39,2%) lub w wielu osiach (29,0%). Wartości odstające lokalizowały się głównie w płatach skroniowych (35,0%), czołowych (16,1%) i potylicznych (16,1%). Nasilenie ruchu korelowało z liczbą wartości odstających ($\rho = 0{,}583$; $p = 5{,}16 \times 10^{-5}$), maksymalną ekstremalnością asymetrii ($\rho = 0{,}409$; p = 0,007) oraz medianową ekstremalnością asymetrii ($\rho = 0{,}704$; $p = 1{,}94 \times 10^{-7}$).

Wnioski: Korekcja ruchu z użyciem prototypu BMC w trybie list-mode była jakościowo niegorsza i rzadko pogarszała wygląd obrazów, natomiast różnice ilościowe rosły wraz z nasileniem ruchu. Wskaźniki kontroli jakości uwzględniające ruch, oparte na liczbie i ekstremalności skrajnych asymetrii ROI, mogą zwiększyć wiarygodność kwantyfikacji FDG PET w DRE, szczególnie w populacji pediatrycznej.

Wyznaczanie dawki terapeutycznej 131I w leczeniu nadczynności tarczycy na podstawie gromadzenia 99mTc-nadtechnecjanu, przy użyciu gammakamery wyposażonej w detektory typu CZT

Mariusz Binek[1], Gabriela Kudzia-Binek[1], Lech Wędrychowicz[1]

[1] Zakład Medycyny Nuklearnej, Beskidzkie Centrum Onkologii – Szpital Miejski im. Jana Pawła II w Bielsku-Białej

Cel: Celem pracy była ocena możliwości wykorzystania stopnia gromadzenia ^{99m}Tc- nadtechnecjanu w tarczycy (^{99m}Tc-uptake), zmierzonej z zastosowaniem aparatury SPECT/CT Veriton, wyposażonej w półprzewodnikowe detektory CZT (tellurku kadmowo-cynkowego), do wyznaczania aktywności terapeutycznej jodu-131 u chorych na nadczynność tarczycy (wole wieloguzkowe, guz autonomiczny, choroba Gravesa-Basedowa).

Materiał i metoda: Do badania włączono 178 chorych zakwalifikowanych do leczenia radiojodem z powodu wola wieloguzkowego, guzów autonomicznych oraz choroby Gravesa-Basedowa. Leczenie ostatecznie przeprowadzono u 92 osób. U każdego chorego wykonano badanie scyntygraficzne tarczycy po podaniu ^{99m}Tc-nadtechnecjanu przy użyciu aparatury SPECT/CT wyposażonej w detektory CZT. Badanie wykonano 20 minut po dożylnym podaniu radiofarmaceutyku. Następnie obliczono procentowy wychwyt podanego radiofarmaceutyku w tarczycy w stosunku do podanej dawki. Na podstawie procentowego wychwytu ^{99m}Tc-nadtechnecjanu oszacowano przybliżoną wartość jodochwytności tarczycy (T24) z zastosowaniem algorytmu uwzględniającego zależność między tymi parametrami. Ostateczną dawkę terapeutyczną obliczono zgodnie z przyjętym modelem dozymetrycznym. Oceniono kliniczną skuteczność przedstawionej metody szacowania dawki terapeutycznej.

Wyniki: Stwierdzono, że dawki terapeutyczne jodu-131 w leczeniu łagodnych schorzeń tarczycy ocenione z zastosowaniem przedstawionego algorytmu okazały się skuteczne u 99% chorych. Uzyskane wyniki wskazują, że pomiary technetochwytności wykonane z użyciem detektorów CZT umożliwiają wiarygodną ocenę parametrów niezbędnych do indywidualizacji terapii.

Wnioski: Ocena stopnia gromadzenia ^{99m}Tc-nadtechnecjanu w tarczycy z zastosowaniem gammakamer wyposażonych w detektory typu CZT może stanowić użyteczny parametr w planowaniu terapii jodem-131 u chorych na łagodne schorzenia tarczycy. Zastosowanie detektorów CZT umożliwia uzyskanie wysokiej jakości pomiarów, co może wspierać indywidualizację leczenia oraz optymalizację aktywności terapeutycznej radiojodu. Dodatkowo zastosowana metoda znacząco upraszcza procedurę medyczną wymaganą w ocenie dawki terapeutycznej jodu-131.

OpenDose – dozymetria open source w medycynie nuklearnej

Damian Borys[1]

[1] Narodowy Instytut Onkologii im. MSC, Państwowy Instytut Badawczy, Oddział w Gliwicach / Politechnika Śląska, Gliwice

Projekt OpenDose powstał jako międzynarodowa, wieloośrodkowa, otwarta współpraca naukowa mająca na celu tworzenie i bezpłatne udostępnianie danych wykorzystywanych w dozymetrii opartej na modelach w medycynie nuklearnej. Dzięki wymianie wiedzy specjalistycznej i zasobów obliczeniowych między współpracującymi ośrodkami możliwe było wygenerowanie kompletnego zestawu danych dla modelu antropomorficznego (fantomów ICRP 110: mężczyzny i kobiety) w ciągu kilku miesięcy, znacznie szybciej niż mógłby to zrobić pojedynczy zespół.

Kluczowym elementem metodologii OpenDose jest niezależna walidacja: współczynniki SAF (Specific Absorbed Fraction) są generowane równolegle przy użyciu różnych kodów Monte

Precyzja, która chroni



Laboratorium Pomiarów Radiologicznych firmy GL Center Sp. z o.o.

NOWOŚĆ!!!
Testy odbiorcze i specjalistyczne w zakresie Medycyny Nuklearnej!

Systemy pomiarów, monitorowania i analizy dawek w ochronie radiologicznej, rentgenodiagnostyce i radiologii zabiegowej.

Kursy i szkolenia specjalistyczne w zakresie kontroli jakości badań radiologicznych oraz NMR.

Testy kontroli jakości dotyczące wymogów badań przesiewowych w mammografii zgodnie z wymaganiami (CD MAM, European Guidelines for Quality Assurance in Breast Cancer Screening and Diagnosis, 4th ed.).

GL CENTER
clever solution

ul. Wspólna 1, 43-190 Mikołów
www.glcenter.pl • biuro@glcenter.pl
+48 517 673 754

PCA Polskie Centrum Akredytacji BADANIA

Carlo, opartych na odmiennych algorytmach transportu promieniowania i modelach fizycznych. W projekcie wykorzystano sześć najpopularniejszych kodów do symulacji przechodzenia cząstek elementarnych przez materię metodą Monte Carlo: EGSnrc/EGS++, FLUKA, GATE, Geant4, MCNP/MCNPX, PENELOPE. Podstawą przeprowadzonych symulacji jest zapis rozkładu energii zdeponowanej w każdym z opisanych regionów w zależności od źródła promieniowania, typu cząstki (fotony/elektrony) oraz energii. Do symulacji przyjęto 91 różnych wartości energii w zakresie od 5 keV do 10 MeV i określono minimalną wartość 10^8 symulowanych cząstek, aby utrzymać rozsądny stosunek pomiędzy statystyką wyników a czasem obliczeń. Wynikiem każdej symulacji są rozkłady dawki pochłoniętej oraz niepewności. Jest to podstawa do wyznaczenia wartości współczynników SAF wraz z niepewnością.

Na podstawie współczynników SAF oraz charakterystyk rozpadu radioizotopów wyznaczane są następnie wartości S, wykorzystywane bezpośrednio w obliczeniach dawki dla poszczególnych narządów. Wszystkie dane publikowane na stronie opendose.org są udostępniane wraz z pełną informacją o niepewnościach statystycznych, co umożliwia ich stosowanie w praktyce klinicznej i badawczej.

Aby ułatwić wykorzystanie tych danych, na stronie opendose.org udostępniono również interaktywny kalkulator dawki, pozwalający na szybkie szacowanie dawki z wykorzystaniem współczynników opracowanych w ramach projektu OpenDose bez konieczności instalowania dodatkowego oprogramowania.

W ramach współpracy OpenDose podjęła również decyzję o rozwoju dedykowanego oprogramowania dozymetrycznego w dwóch komplementarnych kierunkach: dozymetrii opartej na modelach standardowych (model-based) oraz dozymetrii spersonalizowanej, dostosowanej do anatomii konkretnego pacjenta (patient-specific). W tym drugim obszarze rozwijane jest oprogramowanie OpenDose3D. Jest to otwarte narzędzie zbudowane na platformie 3D Slicer, umożliwiające wykonanie trójwymiarowej dozymetrii pacjenta w radioterapii molekularnej na podstawie obrazów SPECT/CT lub PET/CT, z wykorzystaniem symulacji Monte Carlo (GATE/Geant4) uruchamianych lokalnie lub w środowiskach o wysokiej wydajności obliczeniowej (HPC).

PIĄTEK, SESJA: RENTGENODIAGNOSTYKA I RADIOLOGIA ZABIEGOWA

Wstępne propozycje zmian w testach eksploatacyjnych urządzeń radiologicznych i pomocniczych ze szczególnym uwzględnieniem radiologii

Michał Biegała[1]

[1] Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Zakład Medycznych Technik Obrazowania

Proponowane przez Polskie Towarzystwo Fizyki Medycznej (PTFM) zmiany do rozporządzenia Ministra Zdrowia dotyczącego testów eksploatacyjnych urządzeń radiologicznych mają na celu uporządkowanie i ujednolicenie zasad kontroli jakości w rentgenodiagnostyce, mammografii, tomografii komputerowej oraz radiologii zabiegowej. Autorzy propozycji podkreślają, że obecne przepisy zawierają liczne niejednoznaczności interpretacyjne oraz rozwiązania, które nie zawsze odpowiadają współczesnej praktyce klinicznej i aktualnym zaleceniom międzynarodowym. Dlatego proponowane zmiany mają poprawić spójność przepisów, uprościć część procedur testowych oraz zwiększyć bezpieczeństwo pacjentów i personelu medycznego.

W zakresie radiografii cyfrowej i fluoroskopii zaproponowano przede wszystkim doprecyzowanie kryteriów geometrii wiązki promieniowania, uproszczenie części testów podstawowych oraz większe dostosowanie metod kontroli jakości do rzeczywistych warunków klinicznych. Szczególną uwagę zwrócono na systemy automatycznej kontroli ekspozycji (AEC), które mają kluczowe znaczenie dla utrzymania właściwej jakości obrazu i kontroli dawki promieniowania. PTFM proponuje rozszerzenie i zwiększenie częstotliwości testów AEC, zwłaszcza dla urządzeń fluoroskopowych i angiograficznych, gdzie narażenie pacjentów i personelu może być wysokie. Doprecyzowano również wymagania dotyczące artefaktów, mocy dawki oraz parametrów toru wizyjnego.

Bardzo istotna grupa zmian dotyczy mammografii cyfrowej. PTFM zaproponowało modyfikację definicji fantomu do oceny jakości obrazu, tak aby umożliwić stosowanie różnych typów fantomów wykorzystywanych obecnie w praktyce klinicznej. Doprecyzowano również wymagania dotyczące obiektów symulujących mikrozwapnienia i masy lite, co ma zapewnić zgodność przepisów z rzeczywistymi rozwiązaniami technicznymi stosowanymi w mammografii.

Jedną z najważniejszych propozycji w obszarze mammografii jest wprowadzenie testu jakości obrazu z użyciem fantomu CDMAM. PTFM proponuje również zmianę sposobu wykonywania testów związanych z kompensacją zmian grubości fantomu oraz wartości wysokiego napięcia. Nowa metodologia ma być oparta na podejściu opisanym w europejskich wytycznych i lepiej odzwierciedlać rzeczywiste działanie systemów automatycznej kontroli ekspozycji w mammografii cyfrowej. Zmiany te mają umożliwić bardziej wiarygodną ocenę jakości obrazu oraz skuteczniejszą kontrolę zależności pomiędzy dawką gruczołową a jakością diagnostyczną obrazów.

PTFM zwraca również uwagę na konieczność zachowania spójnego podziału pomiędzy testami podstawowymi i specjalistycznymi. Podkreśla, że część testów dotyczących parametrów fizycznych, takich jak dawka gruczołowa, wysokie napięcie, wydajność lampy czy dokładność wskazań KAP/DAP, powinna pozostać w grupie testów specjalistycznych ze względu na wymagany poziom kompetencji i konieczność zachowania wysokiej jakości pomiarów.

Podsumowując, propozycje zmian opracowane przez PTFM mają charakter praktyczny i porządkujący. Ich głównym celem jest dostosowanie polskich przepisów do współczesnych standardów europejskich, ograniczenie niejednoznaczności interpretacyjnych oraz poprawa skuteczności kontroli jakości urządzeń radiologicznych. Szczególnie istotne są zmiany dotyczące mammografii cyfrowej oraz radiologii zabiegowej, ponieważ w tych obszarach prawidłowo wykonywane testy eksploatacyjne mają bezpośredni wpływ na jakość diagnostyczną obrazów, skuteczność procedur oraz poziom narażenia pacjentów i personelu medycznego.

Jak i po co weryfikować wskazania mierników DAP?

Witold Skrzyński[1]

[1] Zakład Fizyki Medycznej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

DAP (*dose-area product*), inaczej KAP (*kerma-area product*) lub P_{KA} (*air kerma–area product*), to jedna z wielkości dozymetrycznych stosowanych w radiografii i fluoroskopii. DAP jest definiowany jako całka z kermy w powietrzu po powierzchni wiązki promieniowania rentgenowskiego w płaszczyźnie prostopadłej do osi wiązki. W praktyce wartość DAP jest mierzona płaską komorą jonizacyjną zamontowaną na wyjściu wiązki, wyświetlana na konsoli aparatu rentgenowskiego i zapisywana w plikach DICOM

i RDSR. W oparciu o DAP ocenia się narażenie pacjenta i zgodność z diagnostycznymi poziomami referencyjnymi. Poziom DAP jest jednym z kryteriów stwierdzania potencjalnej ekspozycji niezamierzonej i selekcjonowania pacjentów, których należy monitorować w radiologii zabiegowej. Wartość DAP może też stanowić podstawę szacowania dawki efektywnej.

Zgodnie z zaleceniami organizacji międzynarodowych (IAEA HHS 47, AAPM TG 150, ICRP 135) wskazania mierników DAP powinny być weryfikowane. PTFM proponuje oceny dokładności wskazań mierników DAP jako jednego z testów eksploatacyjnych, z kryterium zgodności ±35%. W zaleceniach międzynarodowych (IAEA TRS 457, IAEA HHS 47, AAPM TG 190) opisywana jest prosta metoda wykonania takiego testu, polegająca na porównaniu wskazań miernika DAP z iloczynem dwóch wielkości: kermy zmierzonej na środku pola promieniowania i powierzchni pola promieniowania.

Pomiar kermy najwygodniej wykonywać detektorem półprzewodnikowym, który jest ekranowany od dołu i nie rejestruje promieniowania rozproszonego wstecznie. Test wykonuje się dla pola promieniowania z zakresu od 10 × 10 do 15 × 15 cm², ponieważ dla większych pól wartość kermy zmierzona na środku pola promieniowania przestaje być dobrym przybliżeniem średniej kermy dla całego pola (m.in. ze względu na efekt *heel*). W większości aparatów rentgenowskich pole promieniowania można ograniczyć do rozmiaru mniejszego niż pole obrazowania. W takim przypadku wielkość pola można odczytać z obrazu rentgenowskiego. W radiografii cyfrowej należy pamiętać o wyłączeniu tzw. elektronicznej kolimacji tak, by w obrazie było widać krawędzie pola promieniowania. W odczytywaniu wielkości pola pomocne mogą być dodatkowe elementy (np. siatka o oczku 1 cm) umieszczone w tej samej płaszczyźnie, w której był umieszczony nasz detektor promieniowania. W przypadku braku możliwości kolimacji wiązki konieczne może być użycie dodatkowego, zewnętrznego detektora umożliwiającego rejestrację wielkości pola promieniowania (np. płyta obrazowa CR, film radiochromowy).

Pomiary należy wykonywać dla klinicznie używanych jakości promieniowania, unikając odczytów o niskich wartościach. W radiografii najwygodniej zastosować ręczne warunki ekspozycji. Cyfrowy detektor obrazu można na czas pomiarów kermy usunąć z wiązki promieniowania lub osłonić dla uniknięcia powstawania tzw. duchów. W urządzeniach do radiologii zabiegowej użytkownik nie zawsze ma możliwość ręcznego ustawienia parametrów ekspozycji. W takim przypadku dobór odpowiednich parametrów ekspozycji można wymusić, umieszczając w wiązce promieniowania odpowiedni fantom, np. kilka milimetrów miedzi.

Mapowanie PSD w czasie rzeczywistym w zabiegach kardiologicznych

Joanna Kidoń-Szołtysek[1], Marcin Dybek[2], Andrzej Ochała[1], Paweł Gąsior[1], Grzegorz Smolka[1], Maciej Nowakowski[1], Aleksandra Domżalska[1], Wojciech Wojakowski[1]

[1] Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach;
[2] Katowickie Centrum Onkologii

Celem badania była ocena zależności między PSD z systemu mapowania dawki w czasie rzeczywistym a skumulowaną kermą w punkcie referencyjnym pacjenta (kerma@PERP) podczas zabiegów kardiologicznych, w kontekście stosowania średnich wartości referencyjnych SRDL zaproponowanych w Raporcie NCRP nr 168.

Materia i metody: Przeanalizowano łącznie 995 zabiegów kardiologicznych przeprowadzonych w okresie od września 2023 r. do lutego 2026 r., stanowiących 15% wszystkich w tym okresie. Podzielono je na dwie podgrupy: 878 zabiegów (diagnostycznych i terapeutycznych) przeprowadzonych w okresie od września do grudnia 2023 r. oraz 117 zabiegów z wyższą dawką (kerma@PERP ≥ 1,5 Gy, 2% wszystkich, głównie terapeutycznych). Zabiegi podzielono również na trzy grupy według stosunku PSD/kerma@PERP: ≤ 0,6 (3 Gy/5 Gy), > 0,6 i > 1,0. Wskaźniki narażenia na promieniowanie zebrano z systemu DTS (Canon) oraz z obrazów RSD XA. Dane pacjentów i informacje o zabiegach zebrano za pomocą systemu HIS. W przypadku 47 zabiegów z wyższą dawką całkowitą powierzchnię napromieniowaną i obszary PSD przeanalizowano za pomocą programu ImageJ. Korelację między wskaźnikami promieniowania oceniono za pomocą współczynnika rang Spearmana. Pomiary DTS zwalidowano przy użyciu fantomu RW3 z komorą jonizacyjną farmer oraz detektora TP20, a także filmów Gafchromic XR-RV3. Dane analizowano za pomocą oprogramowania Statistica (StatSoft) oraz tabel przestawnych programu Excel. Dalsza szczegółowa analiza z wykorzystaniem oprogramowania Teamplay (Siemens) DMS dla zabiegów od marca 2026 r. zostanie zaprezentowana podczas wystąpienia.

Wyniki: W przypadku procedur terapeutycznych u 85% pacjentów wykazano stosunek PSD/kerma@PERP większy niż 0,6 (37% dla wartości większych niż 1,0), podczas gdy tylko u 15% pacjentów wykazano wartości ≤ 0,6. W przypadku procedur diagnostycznych i terapeutycznych 57% (23%) i 20%, odpowiednio. Najwyższe odnotowane wartości kerma@PERP wynosiły 4,5 Gy (PSD = 2,6 Gy) i 4,8 Gy (kerma@PERP = 2,5 Gy). Nie zaobserwowano wyraźnego związku między stosunkiem PSD/kerma@PERP a stosunkami pól promieniowania.

Szczegółowa analiza jest obecnie w toku.

Mniejsze dawki, więcej szczegółów: photon-counting CT w obrazowaniu kości skroniowych i zatok

Joanna Wójcik[1], Tomasz Wolak[1]
[1] Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu

Dynamiczny rozwój technologii tomografii komputerowej doprowadził do wdrożenia nowej generacji detektorów opartych na bezpośrednim zliczaniu fotonów – PCCT (*Photon-Counting Computed Tomography*). W odróżnieniu od konwencjonalnych systemów CT technologia ta umożliwia poprawę stosunku kontrastu do szumu, eliminację szumu elektronicznego oraz uzyskiwanie informacji spektralnej niemal w każdym badaniu. W praktyce klinicznej przekłada się to na wyższą jakość obrazu, większą powtarzalność pomiarów ilościowych oraz możliwość redukcji dawki promieniowania i ilości podawanego środka kontrastowego. Szczególne znaczenie może mieć to w obrazowaniu struktur drobnych i złożonych anatomicznie, takich jak kości skroniowe, ucho środkowe i wewnętrzne oraz zatoki przynosowe.

Cel: Porównanie wartości DLP (*Dose-Length Product*) uzyskiwanych w badaniach CT kości skroniowych i zatok, wykonywanych na konwencjonalnym aparacie CT oraz aparacie PCCT. Dodatkowo przeanalizowano dawki w badaniach pediatrycznych.

Materiał i metoda: Analizie opisowej poddano wartości DLP rejestrowane podczas badań CT kości skroniowych oraz CT zatok. Badania wykonano na dwóch aparatach: konwencjonalnym aparacie CT oraz aparacie PCCT. Grupę badaną stanowili pacjenci kierowani na diagnostykę obrazową przez lekarzy specjalistów. Przeanalizowano 2573 badania CT kości skroniowych wykonane na aparacie konwencjonalnym oraz 1484 badania wykonane na aparacie PCCT. W badaniach CT zatok analizowano odpowiednio 673 i 328 badań. Badania wykonywano według tej samej procedury technicznej dla obu aparatów.

Wyniki: Średnia wartość DLP dla osób powyżej 16. roku życia w badaniach CT kości skroniowych wyniosła 339 ± 37 mGy · cm dla CT konwencjonalnej oraz 150 ± 24 mGy · cm dla PCCT, co odpowiada redukcji o 55,8%. W badaniach CT zatok średnia wartość DLP wyniosła odpowiednio 215 ± 26 mGy · cm oraz 71 ± 23 mGy · cm, co odpowiada redukcji o 67,0%.

Dawki u dzieci odniesiono opisowo do kategorii wiekowych stosowanych w radiografii pediatrycznej w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 6 grudnia 2022 r. w sprawie diagnostycznych poziomów referencyjnych. Ze względu na brak wartości referencyjnych dla pediatrycznych badań CT kości skroniowych i zatok analizę ograniczono do porównania dawek pomiędzy aparatami.

W badaniach pediatrycznych CT kości skroniowych średnia wartość DLP wynosiła: dzieci poniżej 1. r.ż. 250 ± 66 mGy · cm dla CT konwencjonalnej vs 47 ± 6 mGy · cm dla PCCT, co odpowiada redukcji o 81,2%, dzieci od 1. r.ż. do ukończenia 4. r.ż. 258 ± 76 mGy · cm dla CT konwencjonalnej vs 65 ± 18 mGy · cm dla PCCT, co odpowiada redukcji o 74,8%, dzieci od 5. r.ż. do ukończenia 10. r.ż. wyniosła 301 ± 59 mGy · cm dla CT konwencjonalnej vs 104 ± 29 mGy · cm dla PCCT, co odpowiada redukcji o 65,4%, dzieci od 11. r.ż. do ukończenia 15. r.ż. wyniosła 332 ± 42 mGy · cm dla CT konwencjonalnej vs 128 ± 19 mGy · cm dla PCCT, co odpowiada redukcji o 61,4%. W badaniach CT zatok średnia wartość DLP wynosiła: dzieci od 5. r.ż. do ukończenia 10. r.ż. wyniosła 171 ± 18 mGy · cm dla CT konwencjonalnej vs 50 ± 12 mGy · cm dla PCCT, co odpowiada redukcji o 71,0%, dzieci od 11. r.ż. do ukończenia 15. r.ż. wyniosła 194 ± 24 mGy · cm dla CT konwencjonalnej vs 62 ± 23 mGy · cm dla PCCT, co odpowiada redukcji o 68,0%.

Wnioski: Zastosowanie PCCT pozwoliło na wyraźne obniżenie DLP w badaniach kości skroniowych i zatok w porównaniu z konwencjonalną CT zwłaszcza u najmłodszych pacjentów. Technologia PCCT stanowi istotny etap rozwoju tomografii komputerowej, łącząc bardzo wysoką rozdzielczość przestrzenną z możliwością znaczącej redukcji dawki promieniowania. Przewagą PCCT jest również możliwość uzyskania informacji spektralnych, w tym obrazów monoenergetycznych, map rozkładu jodu oraz wirtualnego usuwania wybranych materiałów z obrazu. Technologia ta ma szczególne znaczenie w diagnostyce otologicznej i rynologicznej, w tym przy ocenie drobnych struktur anatomicznych ucha środkowego i wewnętrznego oraz w analizie efektów leczenia operacyjnego.

Wykorzystanie prototypowej sekwencji MC-GRASE w celu ilościowej oceny mieliny u dzieci – doniesienie wstępne

Sylwia Chełstowska[1], Kamil Cepuch[2], Jakub Baran[2], Elżbieta Jurkiewicz[1]
[1] Instytut „Pomnik – Centrum Zdrowia Dziecka";
[2] Siemens Healthcare Sp. z o.o.

Cel: Celem pracy była ocena wartości sekwencji MC-GRASE w ilościowej ocenie mieliny u dzieci w badaniach z wykorzystaniem 1,5 T rezonansu magnetycznego.

Grupa pacjentów: Badaniem objęto 42 pacjentów pediatrycznych (F = 23, M = 19) z szerokim spektrum schorzeń neurologicznych: padaczka, neurofibromatoza typu 1, rdzeniak, przedwczesne dojrzewanie płciowe ośrodkowe, obrzęk tarcz nerwów wzrokowych, moczówka prosta oraz porażenie nerwu twarzowego.

Kryteriami wyłączenia były choroby demielinizacyjne.

Grupę badaną cechowało wyrównane proporcje płci (stosunek M:F 1,17:1) oraz mediany wieku 11 lat i 5 miesięcy zarówno u chłopców, jak i u dziewczynek.

Wszystkie badania zostały wykonane w Pracowni Rezonansu Magnetycznego IPCZD na aparacie SOLA 1,5 T firmy SIEMENS.

Przetestowano kilka wariantów sekwencji, za najbardziej przydatną diagnostycznie uznano sekwencję o izotropowej rozdzielczości 2,3 × 2,3 × 2,3 mm, którą wykonano u 38 pacjentów. Z różnych przyczyn technicznych pełna analiza ilościowa została wykonana u 34 pacjentów.

Metoda: Protokół badania obejmował sekwencję MP2RAGE (rozdzielczość przestrzenna 1,33 × 1,33 × 1,25 mm³, FoV 256 × 240 mm², TI1/TI2 = 600/2000 ms, kąty odchylenia 5–6°, TR 5000 ms, czas akwizycji 6 min 36 s) wykorzystywaną do morfometrii i mapowania T1. Zastosowano automatyczną segmentację mózgowia w prototypie MorphoBox oraz pakiet QuantiFIRE WIP generujący dodatkowe serie wyjściowe: mapę etykiet regionów mózgu, mapę odchyleń objętościowych, raport objętościowy, mapę odchyleń czasów relaksacji T1 oraz raport regionalnych czasów T1. Ilościowe mapy T2 uzyskano przy użyciu wieloechowej sekwencji 3D MC-GRASE zoptymalizowanej do obrazowania mózgu dziecka, z protokołem dostosowanym pod kątem stosunku sygnału do szumu i czasu badania oraz z zachowaniem izotropowej rozdzielczości.

Analizę danych wykonano w dedykowanym otwartym oprogramowaniu (multicomponent-T2 toolbox) z wykorzystaniem dedykowanych w stosunku do wieku atlasów mielinizacji.

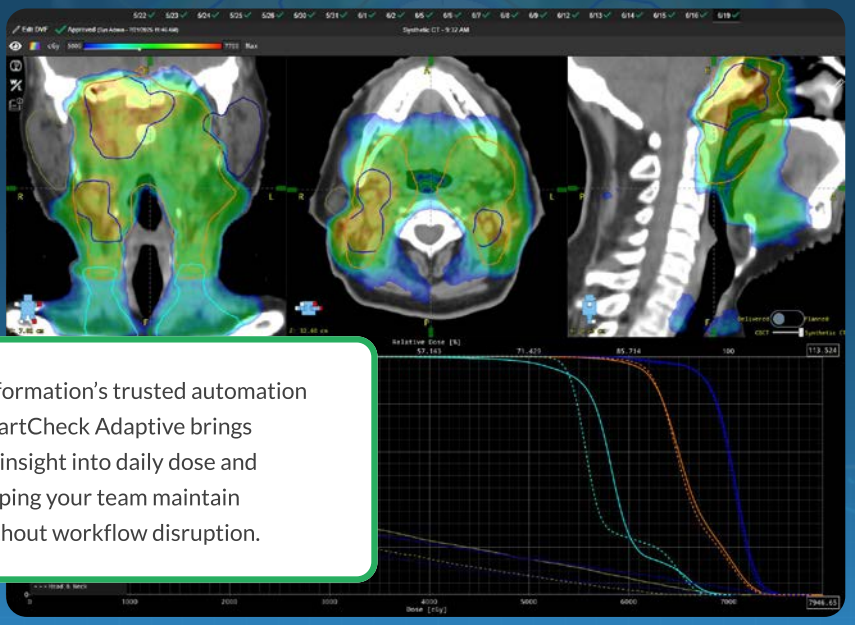
Wyniki: Analiza statystyczna wykazała istotne różnice średniej wartości mieliny między poszczególnymi grupami wiekowymi (test Kruskala-Wallisa: H = 21,4358; p = 0,000259). Najwyższe wartości zaobserwowano w grupie wiekowej 13–18,5 (średnia 0,0792 ± 0,0265), natomiast najniższe w grupie 0–1 lat (średnia 0,0212 ± 0,0025). W analizie post-hoc po korekcji Bonferroniego wykazano istotnie wyższe wartości mieliny w grupie wiekowej 13–18,5 w porównaniu z grupą 4,5–8,5 lat (p = 0,000126) oraz 7–11 lat (p = 0,000162). Wykazano także silną dodatnią korelację pomiędzy wiekiem a średnią wartością mieliny (ρ Spearmana = 0,8085; p < 0,000001). Nie stwierdzono istotnych różnic między grupą dziewczyn i chłopców (p = 0,338).

Wnioski: Wyniki pokazały, że średnia wartość mieliny liczona dla całego mózgowia istotnie wzrasta wraz z wiekiem dziecka, co zgadza się z klinicznie postępującym procesem mielinizacji w okresie rozwojowym. Największe różnice pojawiły się pomiędzy dziećmi młodszymi a grupą nastolatków. Wyniki wskazują również, że dojrzewanie mieliny trwa także w późnym dzieciństwie i adolescencji. Ilościowa ocena mieliny z wykorzystaniem atlasów dopasowanych do wieku może stanowić użyteczne narzędzie w ocenie normatywnego rozwoju mózgu oraz w diagnostyce zaburzeń mielinizacji u dzieci.

INTRODUCING

ChartCheck Adaptive™

Fully Integrated Platform Combining Offline Adaptive Assessment with In-Vivo Monitoring for Data-Driven Decisions



Built on Radformation's trusted automation platform, ChartCheck Adaptive brings quantitative insight into daily dose and anatomy, helping your team maintain precision without workflow disruption.

ChartCheck Adaptive is USFDA 510(k) cleared and CE Marked.

"Radformation's Offline Adaptive Assessment solution will offer our clinicians clearer insights and efficiency in assessing daily changes and evaluating their cumulative impact on the entire course of treatment..."

- Trent Aland | Executive Manager, Clinical Care at Icon Group

LEARN MORE

RADformation

ONCOSOLUTIONS

PIĄTEK, SESJA: RADIOTERAPIA

Mammae Mia!

Aneta Kawa-Iwanicka[1]

[1] Affidea NU-MED Katowice

Rak piersi jest najczęściej rozpoznawanym nowotworem u kobiet na świecie (*WHO 2024* – jest na 1. miejscu w 164 z 186 krajów). W Polsce rocznie stanowi przyczynę ok. 8 tys. zgonów kobiet, a rozpoznawany jest u 25 tys. nowych pacjentek. Statystycznie dotyczy około 0,5–1% mężczyzn. Udział radioterapii w leczeniu nowotworów piersi wzrasta i stanowi ona integralne ogniwo kompleksowej i wielodyscyplinarnej terapii, uzupełniając leczenie miejscowe (chirurgię) i terapię systemową (chemioterapię, hormonoterapię i immunoterapię).

W ciągu ostatnich kilku dekad radioterapia raka piersi przeszła zasadniczą transformację – od prostych technik napromieniania do współczesnej precyzyjnej radioterapii wspieranej obrazowaniem, automatyzacją, sztuczną inteligencją i zmierzającą w kierunku radioterapii adaptacyjnej.

Obecnie radioterapia zwiększa wymagania stawiane procesowi planowania i realizacji leczenia – oferuje szereg korzyści dzięki wykorzystaniu nowych osiągnięć technologicznych, takich jak wiązka bez filtra spłaszczającego (FFF), zmienna wartość mocy dawki i kąta kolimacji wiązki w trakcie ekspozycji. Szereg możliwości technicznych i zwiększenie konformalności leczenia pozwalają na efektywne wdrażanie tych rozwiązań. Techniki radioterapii, w tym: BRT, IORT, teleradioterapia 3D-CRT, IMRT, plany hybrydowe (3D+VMAT), a w szczególności VMAT w połączeniu z realizacją na wstrzymanym oddechu (DIBH) umożliwiają dziś spełnienie rygorystycznych założeń terapeutycznych na poziomie, który wcześniej był nieosiągalny. Przekłada się to na tworzenie technicznie wymagających planów leczenia.

Prezentacja przedstawia możliwości techniczne radioterapii piersi w kontekście zmieniających się zaleceń dotyczących ochrony narządów krytycznych OAR oraz stosowanych obecnie schematów eskalacji dawki (hipofrakcjonowania), a także w kontekście rosnących wymagań dozymetrycznych stawianych przed procesem planowania. Na przykładzie niestandardowych przypadków klinicznych zaprezentowano przyjęte rozwiązania techniczne i planistyczne wykorzystywane w codziennej praktyce fizyka medycznego. Dla reprezentatywnej grupy pacjentek przeprowadzono analizę dozymetryczną jednego z obecnie stosowanych schematów frakcjonowania i powiązanych z nim rozwiązań, co pozwoliło na ilościową ocenę możliwości realizacji przyjętych założeń klinicznych i dozymetrycznych. Technika poddana analizie umożliwia szybkie napromienianie piersi (istotne dla DIBH) z wykorzystaniem krótkich, przeciwległych łuków z wykorzystaniem wiązki bez filtra wyrównującego, co przekłada się na jednorodne napromienienie piersi (pokrycie PTV na poziomie 97,2% ± 1,2%), przy wartościach wskaźników CIav. = 0,81 ± 0,04 oraz HIav. = 1,13 ± 0,09. Skutecznie oszczędza zdrowe tkanki i krytyczne narządy (OAR), tj. tkankę płucną, serce wraz z gałęzią przednią zstępującą (LAD) oraz przeciwległą pierś i przełyk. Redukcję narażenia organizmu pacjentki na promieniowanie o niskiej dawce (tzw. *low-dose shower*) potwierdza wartość V5Gy na poziomie ok. 22%. Każda frakcja realizowana jest pod kontrolą obrazowania CBCT komplementarnie z systemem SGRT do pozycjonowania i monitorowania pacjentki w trakcie ekspozycji.

Radioterapia zawsze jest procesem złożonym i wieloczynnikowym. Wybór strategii powinien uwzględniać zarówno czynniki kliniczne, takie jak wiek, rozpoznanie, wielkość obszaru napromienianego, choroby współistniejące, jak również uwarunkowania związane z samą pacjentką. Jej możliwości organizacyjne, poziom współpracy z personelem oraz świadomość i zrozumienie procesu leczenia. Na sposób realizacji wpływa także doświadczenie zespołu, wypracowane i sprawdzone szablony i standardy postępowania przekładające się na zapewnienie powtarzalności, precyzji, a przede wszystkim na zachowanie bezpieczeństwa pacjentki na każdym etapie skutecznego leczenia.

Radioterapia adaptacyjna – CHALLENGE accepted

Magdalena Łukowiak[1]

[1] Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie, Zakład Fizyki Medycznej, ul. Ku Słońcu 13, 71-073 Szczecin, Zachodniopomorskie Centrum Onkologii, Zakład Fizyki Medycznej, ul. Strzałowska 22, 71-730 Szczecin

Pierwsze procedury z użyciem radioterapii adaptacyjnej online (oART) w Polsce zaczęto realizować w 2024 r. W ciągu 2 lat wprowadzono procedury postępowania w różnych przypadkach klinicznych, a nawet ocenę wczesnych odczynów popromiennych. W tym czasie pojawiło się również wiele komercyjnych rozwiązań umożliwiających zastosowanie oART.

Niezależnie od rozwiązania technologicznego nadrzędnym celem oART jest codzienna adaptacja planu leczenia przy uwzględnieniu zmian anatomicznych, co pozwala na podanie dawki terapeutycznej w obszar tarczowy, zmniejszając toksyczność dla tkanek zdrowych.

Technologie pozwalające na realizowanie oART mają swoje zalety i ograniczenia, lecz pomimo ich różnorodności mają wspólny mianownik – stanowią WYZWANIE dla zespołu medycznego. Wyzwanie ma charakter wielowymiarowy, ponieważ oprócz ciągłego zapewnienia jakości na etapie planowania i realizacji leczenia dochodzi również wymiar procesowy związany z organizacją pracy, logistyką, przepływem informacji oraz wymiar ludzki, który wymusza zmiany w dotychczasowym myśle-

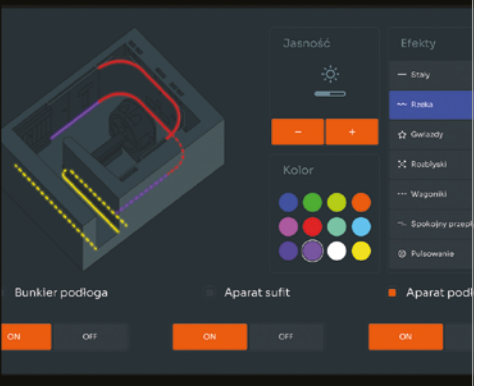
radpro

System Zarzadzania Pracownią:

- informowanie o awariach istotnych elementów instalacji, w szczególności chłodzenia aparatu i wentylacji, za pomocą wiadomości sms oraz e-mail,
- informacja o krotności wymiany powietrza w pracowni,
- sterowanie klimatyzacją w pracowni oraz sterowni,
- sterowanie oświetleniem pracowni oraz sterowni,
- wizualizacja i sterowanie dekoracyjnym oświetleniem pracowni oraz sterowni,
- informowanie o sytuacjach krytycznych np. pojawienie się wody w pracowni, przekroczenie limitów temperatury,
- obsługa dodatkowych multimediów np. źródła audio,
- integracja z system nadzoru pacjenta,
- sterowanie drzwiami pracowni.









kontakt.

T: +48 608 250 249
M: kamil.kaminski@radpro.pl

www.radpro.pl

niu o radioterapii. Ciągłe kształcenie i wymiana doświadczeń w ośrodkach i między ośrodkami realizującymi oART jest kluczowym aspektem dla zapewnienia bezpiecznego i skutecznego leczenia.

Celem prezentacji jest ocena możliwości rozwoju radioterapii adaptacyjnej w Polsce w oparciu o dostępne technologie, ocena różnic w przebiegu pracy oraz zapewnienie bezpieczeństwa w zakresie oART.

Wyznaczenie i analiza krzywych HU dla tomografu NAEOTOM Alpha na potrzeby systemu planowania radioterapii

Magdalena Narkowicz[1], Michał Posiewnik[1], Anita Prawdzik-Dampc[1], Joanna Kamińska[1]*

[1] UCK Gdańsk

Cel: Wprowadzenie tomografii photon-counting CT do planowania radioterapii wymaga pomiaru weryfikacyjnego i wyznaczenia krzywych HU-RED (*Relative Electron Density*, RED) i HU-AMD (*Absolute Mass Density*, AMD) umożliwiających prawidłowe przypisanie gęstości elektronowej w systemie planowania leczenia. Celem pracy było zdefiniowanie krzywych dla rekonstrukcji Rho (ρ) oraz rekonstrukcji T3D120 i T3D140 uzyskanych na tomografie NAEOTOM Alpha, a następnie porównanie ich z krzywymi HU konwencjonalnego tomografu CT firmy Siemens.

Materiał i metoda: Pomiary wykonano z wykorzystaniem fantomu Advanced Electron Density Phantom Model 1467 (Sun Nuclear) zawierającego inserty o względnych gęstościach masowych od 0,3 do 8 g/cm³, odpowiadające tkankom płucnym, tkankom miękkim, kości oraz materiałom o wysokiej gęstości. Dla rekonstrukcji Rho, T3D120 i T3D140 wyznaczono wartości HU dla wszystkich insertów fantomu przy różnych protokołach obrazowania, a następnie opracowano krzywe HU-RED i HU-AMD. Otrzymane wyniki porównano z zdefiniowaną przez producenta liniową zależnością pomiędzy wartością obrazu a względną gęstością masową HU-AMD dla rekonstrukcji RHO oraz krzywą HU-AMD konwencjonalnego tomografu CT Siemens.

Wyniki: Wyznaczone krzywe HU dla materiałów odpowiadających tkankom biologicznym wykazały bardzo wysoką zgodność z wartościami referencyjnymi podawanymi przez producenta tomografu NAEOTOM Alpha. Rekonstrukcja Rho znacząco odbiega od HU-AMD konwencjonalnego tomografu. Wyniki wskazują na zgodność z liniową zależnością HU-AMD opisaną przez producenta w zakresie odpowiadającym tkankom biologicznym oraz wykazują stabilność pomiędzy analizowanymi protokołami skanowania. Powyżej zakresu odpowiadającego tkankom biologicznym zależność zaczyna wyraźnie odbiegać od prostego modelu liniowego. Rekonstrukcje T3D120 i T3D140 są zgodne w zakresie tkanek biologicznych, natomiast dla materiałów o bardzo wysokiej gęstości (aluminium, tytan i stal) zaobserwowano istotne różnice w odwzorowaniu wartości HU.

Wnioski: Wyznaczone krzywe HU-AMD dla rekonstrukcji Rho, T3D120 i T3D140 umożliwiły wdrożenie tomografu NAEOTOM Alpha do systemu planowania radioterapii. Zaobserwowane różnice pomiędzy rekonstrukcjami, szczególnie dla materiałów o wysokiej gęstości, uzasadniły zastosowanie trzech dedykowanych krzywych HU-AMD w systemie TPS. Rekonstrukcja Rho oraz rekonstrukcje T3D uzyskane na tomografie photon-counting rozszerzyły zakres wartości HU w porównaniu z konwencjonalnym tomografem CT. Rozszerzenie zakresu odwzorowania wartości HU dla materiałów o wysokiej gęstości zwiększa możliwości różnicowania materiałów o dużym współczynniku osłabienia promieniowania, co może wpłynąć na dokładność obliczeń dawki.

Interwencyjna adaptacyjna radioterapia zmian przerzutowych FAST-METS z wykorzystaniem systemu Ethos

Anna Jankowska[1], Anna Zawadzka[1], Michał Czerwiński[2], Marta Fillmann[1], Paweł Kukołowicz[1]

[1] Zakład Fizyki Medycznej, Narodowy Instytut Onkologii im. M. Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy, ul. W. K. Roentgena 5, Warszawa;

[2] Zakład Radioterapii I, Narodowy Instytut Onkologii im. M. Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy, ul. W. K. Roentgena 5, Warszawa

Cel: Radioterapia jest skuteczną metodą leczenia bólu związanego z przerzutami nowotworowymi do kości. Standardowa ścieżka paliatywnej radioterapii wymaga najczęściej kilku wizyt obejmujących konsultację, wykonanie badania tomografii komputerowej do planowania leczenia oraz napromienianie. Dla pacjentów z zaawansowaną chorobą nowotworową i ograniczoną sprawnością kolejne wizyty mogą stanowić istotne obciążenie. Procedura FAST-METS wykorzystuje adaptacyjną radioterapię online (oART) umożliwiającą przygotowanie i realizację leczenia na podstawie dostępnych badań diagnostycznych. Celem badania była ocena możliwości technicznego i organizacyjnego wdrożenia ścieżki FAST-METS z wykorzystaniem systemu Ethos (v.2, Varian) u chorych poddawanych paliatywnej radioterapii przerzutów.

Materiały i metody: Analizą objęto 28 pacjentów zakwalifikowanych do jednofrakcyjnej radioterapii paliatywnej w dawce 6–8 Gy. Proces leczenia obejmował kwalifikację chorego, przygotowanie wstępnego planu leczenia na podstawie dostępnych badań diagnostycznych (TK, MR i SPECT) oraz zrealizowanie radioterapii z użyciem planu adaptacyjnego przygotowanego na podstawie rzeczywistego badania CBCT w systemie Ethos.

Are YOU INTERESTED
in new treatment modalities?

2QUART MEDICAL
Advancing Medical opportunities



Na podstawie obrazów CBCT system automatycznie generuje kontury obszarów tarczowych, które są weryfikowane i w razie konieczności poprawiane przez lekarza radioterapeutę. W pracy oceniono poszczególne etapy procedury, całkowity czas leczenia oraz parametry rozkładu dawki, w tym PTV D98, PTV D2% i CTV D98%. Przeanalizowano problemy techniczne związane z wykorzystaniem badań diagnostycznych zamiast standardowej tomografii do planowania radioterapii, obejmujące przygotowanie danych obrazowych, zmianę orientacji pacjenta, określenie położenia izocentrum oraz dobór geometrii wiązek.

Wyniki: Średni czas realizacji procedury na aparacie Ethos wyniósł 26 minut i 54 sekund (odchylenie standardowe: 7 minut i 13 sekund), mediana wyniosła 24 minuty i 52 sekundy. Średnia wartość PTV D98% wyniosła 93,2% (odchylenie standardowe 6,9%; mediana 95,3%), średnia wartość PTV D2% wyniosła 103,8% (odchylenie standardowe 1,4%; mediana 103,4%), a średnia wartość CTV D98% wyniosła 96,6% (odchylenie standardowe 1,5%; mediana 96,5%).

Adaptacja planu w czasie rzeczywistym pozwala uwzględnić aktualną anatomię chorego oraz różnice w zmianie ułożenia pacjenta pomiędzy diagnostycznymi badaniami obrazowymi a pozycją terapeutyczną. W większości przypadków automatyczna propagacja konturów wymagała jedynie niewielkich korekt, natomiast większe modyfikacje były konieczne głównie w przypadku progresji zmian nowotworowych. Zastosowanie wstępnego planowania w systemie Eclipse (v.18.0, Varian) z ograniczoną liczbą pól IMRT pozwoliło skrócić czas adaptacyjnej optymalizacji przy zachowaniu odpowiedniego pokrycia PTV. Niezależna weryfikacja dozymetryczna wykonywana narzędziem Mobius 3D (v.4, Varian) bezpośrednio przed napromienianiem potwierdziła poprawność przygotowanych planów leczenia.

Wnioski: Opracowana ścieżka FAST-METS z zastosowaniem oART w systemie Ethos, umożliwiająca pominięcie wykonania dedykowanej do radioterapii tomografii komputerowej i przeprowadzeniu konsultacji w formie teleporady, pozwala na skrócenie czasu od kwalifikacji do rozpoczęcia leczenia i przeprowadzenie całego procesu podczas jednej wizyty pacjenta. Ma to szczególne znaczenie u pacjentów z nasilonym bólem, mieszkających daleko. Uzyskane doświadczenia wskazują, że protokół FAST-METS jest możliwy do wykonania technicznie i organizacyjnie. Czas realizacji jest krótki, a uzyskiwany rozkład dawki spełnia wymagania dla planów paliatywnych. Bezpieczne stosowanie tej metody wymaga jednak starannego przygotowania procedury oraz każdorazowej weryfikacji automatycznie wygenerowanych konturów i planu adaptacyjnego.

Zastosowania ciągłego dodatniego ciśnienia w drogach oddechowych (Continuous Positive Airway Pressure, CPAP) podczas radioterapii chorych na raka lewej piersi niekwalifikujących się do techniki DIBH – wstępna analiza dozymetryczna

Kai Deng[1], Wojciech Majewski[2], Milena Szacht[2], Piotr Czuchraniuk[2], Renata Seredyn[2], Katarzyna Kordal[2], Katarzyna Pasicz[1], Paweł Kukołowicz[1], Anna Zawadzka[1]

[1] Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy / Zakład Fizyki Medycznej;
[2] Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy / Zakład Radioterapii I

Wstęp: Napromienianie na głębokim, wstrzymanym wdechu (Deep Inspiration Breath Hold, DIBH) jest powszechnie stosowaną techniką ograniczania dawki promieniowania dostarczanej do serca podczas radioterapii chorych na raka lewej piersi. Część pacjentek nie spełnia jednak kryteriów kwalifikacji do DIBH, przede wszystkim ze względu na brak możliwości uzyskania i utrzymania powtarzalnego wstrzymania oddechu. Alternatywą dla napromieniania podczas swobodnego oddychania (SO) może być zastosowanie ciągłego dodatniego ciśnienia w drogach oddechowych (Continuous Positive Airway Pressure, CPAP). Zwiększenie objętości płuc uzyskane podczas zastosowania CPAP może spowodować odsunięcie serca od ściany klatki piersiowej i potencjalnie ograniczenia dawki dostarczanej do narządów krytycznych, bez konieczności aktywnej współpracy pacjentki. Dodatkowymi zaletami CPAP są szeroka dostępność, bezpieczeństwo stosowania oraz niski koszt. Celem pracy była ocena wpływu zastosowania CPAP na parametry dozymetryczne serca, gałęzi międzykomorowej przedniej lewej tętnicy wieńcowej (LAD) i płuc u chorych na raka lewej piersi poprzez porównanie planów leczenia wykonanych dla SO i CPAP.

Materiał i metody: Do badania włączono 20 pacjentek chorych na raka lewej piersi, zakwalifikowanych do uzupełniającej radioterapii i niespełniających kryteriów zastosowania techniki DIBH, tj. brak możliwości uzyskania i utrzymania podczas przygotowania do bramkowania oddechowego powtarzalnych, głębokich wdechów trwających co najmniej 20–30 sekund. Obszar napromieniania obejmował pierś lub ścianę klatki piersiowej po mastektomii, z regionalnymi węzłami chłonnymi lub bez ich uwzględnienia. U każdej pacjentki wykonano dwa badania TK: podczas swobodnego oddychania oraz z zastosowaniem CPAP. Na podstawie każdego badania TK w systemie planowania leczenia Eclipse (v.18.0.1) przygotowano niezależne plany leczenia techniką VMAT. Plany optymalizowano tak, aby uzyskać porównywalne pokrycie PTV oraz spełnić jednakowe cele planistyczne dla narządów krytycznych. Dawka całkowita wynosiła 40,05 Gy przy 15 frakcjach. Zastosowano wiązki fotonowe o energii 6 MV z algorytmem AAA (Anisotropic Analytical Algorithm, v.18.0.1). Analizie poddano objętości płuc i serca oraz wybrane parametry dozymetryczne serca, LAD i płuca lewego. Wyniki przedstawiono jako średnią ± odchylenie standardowe. Do oceny różnic po-

IT V
Innovative Technologie Völp



Unieruchomienia dla radioterapii



Wyłączny dystrybutor w Polsce:

RA Radiotherapy Accessories Sp. z o.o.

Adres siedziby:
Radiotherapy Accessories sp. z o.o.
ul. Waryńskiego 7
62-300 Września

Biuro firmy i magazyn:
ul. Daszyńskiego 2A
62-300 Września

tel: 508 208 089 **www: raac.com.pl** **e-mail: sekretariat@raac.com.pl**

między parametrami uzyskanymi dla techniki swobodnego oddechu i CPAP zastosowano test Wilcoxona dla prób zależnych. Za poziom istotności statystycznej przyjęto $p < 0,05$.

Wyniki: Średnia całkowita objętość płuc podczas stosowania CPAP była o 43,9% większa niż podczas swobodnego oddechu (4221,4 ± 817,1 cm^3 vs 2934,0 ± 574,5 cm^3; $p < 0,001$). Zastosowanie CPAP wiązało się z istotnym zmniejszeniem indywidulanej średniej dawki w sercu (MHD) o 24,3%. Średnia MHD została zredukowana z 3,1 ± 1,2 Gy dla SO do 2,4 ± 1,0 Gy dla CPAP ($p < 0,001$). U 14 z 20 pacjentek udało się obniżyć MHD o ponad 0,5 Gy. Maksymalna dawka w sercu zmniejszyła się odpowiednio z 21,8 ± 9,0 Gy do 13,3 ± 8,1 Gy ($p < 0,001$). Średnia dawka dla LAD zmniejszyła się z 5,7 ± 3,0 Gy do 4,8 ± 3,1 Gy ($p < 0,001$). Maksymalna dawka w LAD zmniejszyła się z 14,9 ± 8,8 Gy do 10,6 ± 7,8 Gy, co odpowiadało średniej redukcji o 4,3 Gy ($p = 0,010$). Nie stwierdzono istotnej statystycznie różnicy w średniej dawce w płucu lewym pomiędzy analizowanymi technikami (6,6 ± 2,2 Gy dla SO vs 6,6 ± 2,3 Gy dla CPAP; $p = 0,443$).

Wnioski: Wstępne wyniki wskazują, że zastosowanie CPAP podczas radioterapii chorych na raka lewej piersi istotnie zmniejsza dawkę promieniowania dostarczaną do serca i LAD w porównaniu z napromienianiem podczas swobodnego oddechu, bez istotnej zmiany średniej dawki w lewym płucu i przy zachowaniu porównywalnego pokrycia PTV. CPAP może stanowić wartościową alternatywę dla pacjentek niekwalifikujących się do techniki DIBH.

manteia

AccuContour – automatyczne konturowanie AI (OARs & PTVs)
AccuLearning – tworzenie własnych modeli AI
AccuCheck – inteligentny i automatyczny system QA
TPS MOZI – system planowania nowej generacji



Zapytaj o darmową wersję testową!

Dystrybutor w Polsce:
teMED technologie medyczne
temed.pl

PIĄTEK, SESJA: DOZYMETRIA W RADIOTERAPII

Testy i nowelizacja rozporządzenia – sprawozdanie

Damian Kabat[1]
[1] NIO PIB Oddział w Krakowie

Wprowadzone w grudniu 2022 r. Rozporządzenie Ministra Zdrowia w sprawie testów eksploatacyjnych urządzeń radiologicznych, choć miało na celu ujednolicenie procedur, w praktyce znacząco skomplikowało codzienną pracę fizyków medycznych. Nowe przepisy, wchodzące w życie po 18 miesiącach od ogłoszenia, wprowadziły szereg nowych, dotychczas niestosowanych testów, nie oferując jednocześnie jasnych, uzasadnionych merytorycznie rozwiązań ani wytycznych wykonawczych.

Wyrazem tej złożoności jest konieczność opracowania przez Sekcję Radioterapii Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej (PTFM) odrębnego dokumentu zawierającego Praktyczne wskazówki. Inicjatywa ta, podjęta przez grono doświadczonych specjalistów, nie ma charakteru rekomendacji czy przepisów prawa, ale stanowi bezpośrednią odpowiedź na lukę interpretacyjną powstałą po wejściu w życie rozporządzenia. Dokument szczegółowo opisuje metodykę wykonania wybranych testów, w tym z zakresu obrazowania kV/MV, koordynacji systemów obrazowania z izocentrum akceleratora (test Winstona-Lutza), czy kontroli parametrów geometrycznych i dozymetrycznych, które wcześniej nie były precyzyjnie określone.

Obecnie, w odpowiedzi na te wyzwania, grupa specjalistów Sekcji Radioterapii PTFM opracowała kolejny, obszerny zestaw testów – tym razem już nie jako kolejna deska ratunkowa, ale jako merytoryczna propozycja nowych rozwiązań, która została przekazana do Ministerstwa Zdrowia i oczekuje na włączenie w proces nowelizacji rozporządzenia. O tym właśnie procesie – od rozporządzenia, przez praktyczne wskazówki, aż po propozycję nowych testów oczekującą na nowelizację – autor opowie podczas swojej prezentacji na kongresie.

Działania te pokazują, że nowelizacja, zamiast uprościć i ujednolicić system zapewnienia jakości, wymusiła na środowisku medycznym tworzenie oddolnych, praktycznych interpretacji, co uwypukla niedostatek formalnego wsparcia ze strony ustawodawcy. A kto inny, jak nie specjaliści fizyki medycznej, ma rozumieć rzeczywiste wymogi kontroli jakości? To oni – w praktyce – powinni być ich faktycznymi autorami.

Testy kontroli jakości dla technik stereotaktycznych realizowanych na liniowych akceleratorach medycznych z ramieniem C. Zalecenia Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej

Agnieszka Walewska[1], *Edyta Fujak*[1], *Damian Kabat*[2], *Dominika Oborska-Kumaszyńska*[3], *Joanna Kamińska*[4], *Paweł Wołowiec*[5], *Tomasz Piotrowski*[6]

[1] Zakład Fizyki Medycznej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie;
[2] Zakład Fizyki Medycznej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy Oddział w Krakowie;
[3] Sunrise Centre, Royal Cornwall Hospital NHS Trust, Truro;
[4] Katedra i Klinika Onkologii i Radioterapii, Gdański Uniwersytet Medyczny;
[5] Zakład Fizyki Medycznej, Świętokrzyskie Centrum Onkologii w Kielcach;
[6] Katedra i Zakład Elektroradiologii, Uniwersytet Medyczny w Poznaniu; Zakład Fizyki Medycznej, Wielkopolskie Centrum Onkologii w Poznaniu

Wstęp: Dynamiczny rozwój technik radioterapii stereotaktycznej, realizowanej jako: radiochirurgia wewnątrzczaszkowa (SRS), frakcjonowana radioterapia wewnątrzczaszkowa (SRT/FSRT) oraz stereotaktyczna radioterapia pozaczaszkowa (SBRT), stawia szczególne wymagania w zakresie precyzji geometrycznej i dozymetrycznej. Podawanie wysokich dawek frakcyjnych przy minimalnych marginesach bezpieczeństwa wymaga wdrożenia restrykcyjnych procedur kontroli jakości (QC). Niniejsze opracowanie stanowi sprawozdanie z zaleceń przygotowanych przez zespół specjalistów pod auspicjami Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej (PTFM).

Cel pracy: Głównym celem publikacji jest wsparcie fizyków medycznych w przygotowaniu i optymalizacji wewnętrznych programów zapewnienia jakości (QA) dedykowanych technikom stereotaktycznym realizowanym na akceleratorach liniowych z ramieniem C. Zalecenia mają charakter uzupełniający i koncentrują się na specyficznych wyzwaniach związanych z wymaganą submilimetrową dokładnością geometryczną procedur oraz precyzją dostarczenia dawki.

Materiał i metody: Dokument został opracowany na podstawie aktualnej literatury międzynarodowej (m.in. raportów NCS, AAPM, IPEM, SGSMP, ASTRO) oraz doświadczenia klinicznego autorów. Proces tworzenia zaleceń objął szerokie konsultacje przeprowadzone w dziesięciu wiodących ośrodkach onkologicznych w Polsce realizujących techniki stereotaktyczne.

orfit
The precision expert

Kompleksowy System Pozycjonujący i Unieruchamiający



aio
The Complete Patient Positioning Solution

Jedno rozwiązanie dla wszystkich pacjentów



Wyłączny dystrybutor w Polsce:

stanley

ul. 28 Czerwca 1956r nr 135,
61-544 Poznań
tel. 61 835 32 86

radioterapia@stanley.poznan.pl

www.stanley.poznan.pl

Wyniki: Opracowane zalecenia PTFM stanowią ważny krok w stronę ujednolicenia standardów kontroli jakości w radioterapii stereotaktycznej w Polsce. Wdrożenie zaproponowanych procedur, w tym regularne wykonywanie testów E2E oraz analiza ryzyka metodą FMEA, pozwala na znaczące podniesienie poziomu bezpieczeństwa pacjentów i gwarantuje wysoką jakość realizowanych procedur.

Pierwsze doświadczenia z systemem PntDos™ do dozymetrii in vivo

Paulina Wesołowska[1], Agnieszka Walewska[1], Paweł Kukołowicz[1]

[1] Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy

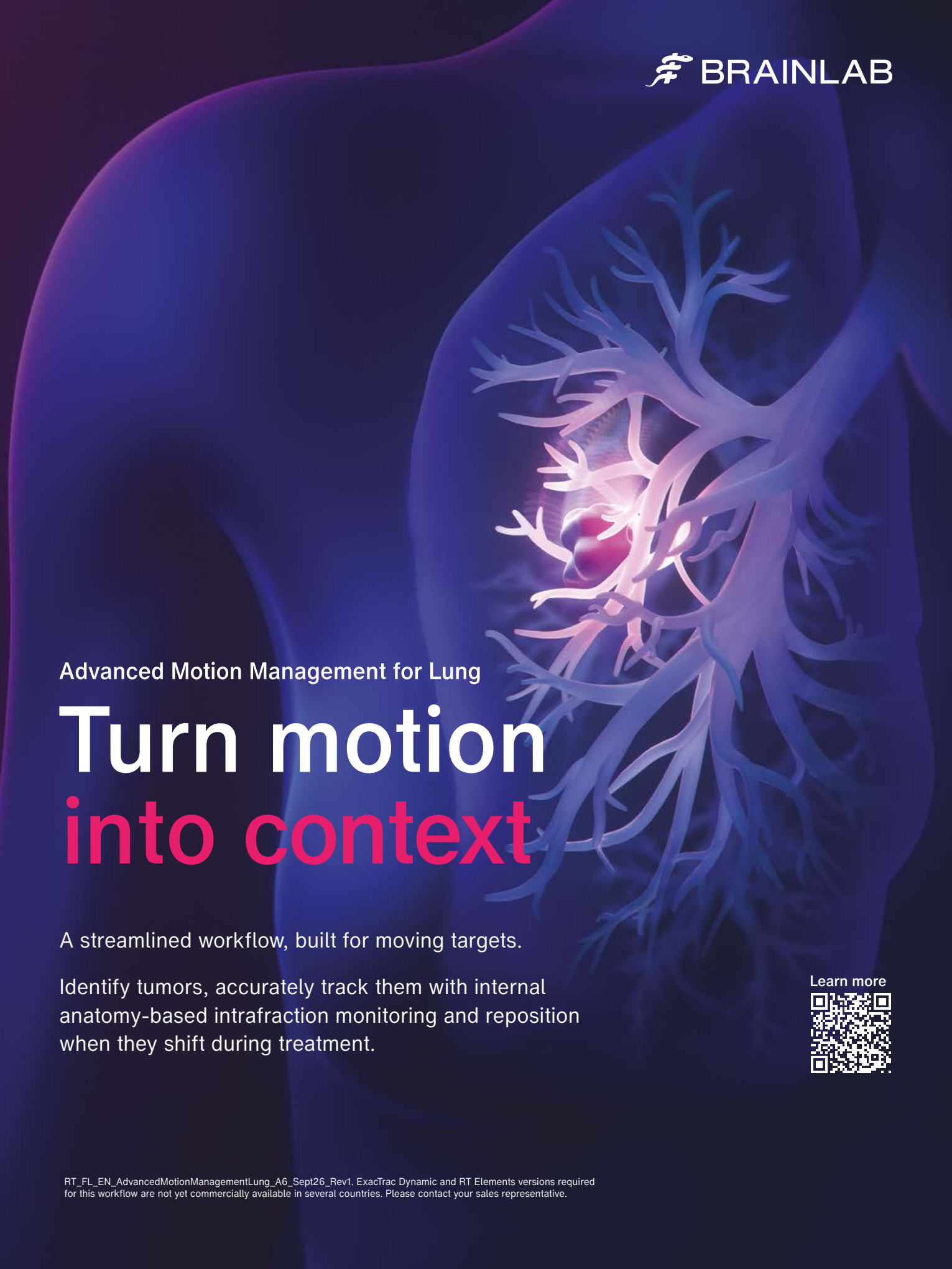
Wstęp: Dozymetria in vivo jest wykorzystywana w celu kontroli jakości leczenia w radioterapii poprzez pomiar dawki otrzymanej przez pacjenta w trakcie trwania sesji radioterapeutycznej i porównanie go z zaplanowanym rozkładem. Filmy radiochromowe ze względu na tkankorównoważność, wysoką rozdzielczość, brak zależności energetycznej i kątowej są dobrym detektorem do tego celu. System dozymetrii filmowej PntDos™ (Ashland) jest dedykowanym narzędziem do dozymetrii in vivo, składającym się z małych fragmentów filmów, skanera oraz oprogramowania zapewniającego automatyzację procesu odczytu i analizy. Celem pracy była praktyczna ocena tego rozwiązania w warunkach klinicznych – identyfikacja mocnych stron oraz istotnych z punktu widzenia użytkownika ograniczeń.

Materiały i metody: System PntDos™ tworzą: filmy radiochromowe opatrzone kodem QR (aktywny obszar ok. 1,0 × 1,2 cm, grubość 0,5 mm), dedykowany skaner Epson V600 z szablonem na 9 detektorów oraz oprogramowanie FilmQA Pro v8. Przygotowanie systemu do pracy wymaga wykonania testu skanera (ważny 24 h) oraz wyznaczenia krzywej kalibracyjnej. Kalibrację wykonano, naświetlając zestaw detektorów dawkami określonymi przez producenta: 0, 5, 10, 20, 40, 80, 160, 320 i 640 cGy. Filmy kalibracyjne były odczytywane wielokrotnie w ustalonych przerwach czasowych do 24 godzin po napromienieniu. Oprogramowanie wyznacza dwie krzywe kalibracyjne w zakresie odczytu dawek niskich (do 80 cGy) i wysokich (80–400 cGy). Do oceny dokładności wyznaczania dawki w testowanym systemie napromieniono 14 detektorów z zakresu 9,9–398,1 cGy w fantomie stałym Sun Nuclear Solid Water HE (SSD = 90 cm, d = 10 cm, pole 10 × 10 cm², wiązka 6 MV FFF akceleratora Ethos, Varian). Dawki referencyjne dla napromienionych detektorów wyznaczono, mierząc dawkę w tej samej geometrii z użyciem komory jonizacyjnej Semiflex 3D (PTW) wg IAEA TRS-398. Filmy były odczytane w 17 minucie po ekspozycji (near real-time).

Wyniki: Dla odczytu w zakresie niskich dawek maksymalna różnica wyniosła 2,9 cGy (pomiar 72,5 cGy) dla dawki referencyjnej 69,6 cGy, gdzie podana dokładność producenta to 10 cGy. W zakresie wysokich dawek otrzymano zgodność z dawką referencyjną od –6,2% do +5,2%. Dla dwóch dawek (79,6 cGy oraz 348,3 cGy) uzyskane odchylenia przekroczyły deklarowaną przez producenta dokładność na poziomie 5%. W trakcie analizy zauważono w krzywych kalibracyjnych dla kanału niebieskiego w wysokim zakresie dawek artefakt „blue channel spike" w okolicy 80 cGy, mogący wpływać na dokładność odczytu dawki. Podczas wyznaczania dawki wszystkie trzy kanały: czerwony, zielony i niebieski są wykorzystywane do określenia dawki. Oprogramowanie w obecnej wersji nie daje możliwości poprawy uzyskanych krzywych kalibracyjnych poprzez np. przesunięcie obszaru zainteresowania na filmie lub usunięcie któregoś z pasków kalibracyjnych.

Podsumowanie: Do zalet systemu PntDos™ należą: automatyczna kalibracja w funkcji czasu, możliwość uzyskania wyniku już 15 min po ekspozycji (near real-time), automatyczna identyfikacja i śledzenie detektorów dzięki kodom QR, ważność kalibracji przez 30 dni dla całej partii filmów, szeroki zakres pomiarowy oraz powtarzalne ułożenie detektorów zapewniane przez szablon pozycjonujący. System aktywnie ostrzega o przekroczeniu ważności krzywej lub terminu przydatności detektora. Do zidentyfikowanych wad należą: problemy z dopasowaniem krzywej dla wysokich dawek i artefakt „blue channel spike", zamknięta architektura oprogramowania (black box) uniemożliwiająca ręczną modyfikację krzywych, zmianę położenia ROI lub wyłączenie pojedynczego kanału RGB, brak ręcznego nadpisania identyfikacji przy uszkodzeniu kodu QR, przechowywanie detektorów w temp. 4–6°C, krótki okres trwałości (6 miesięcy), sztywność detektorów utrudniająca dopasowanie do silnie zakrzywionych powierzchni. Przy pracy z systemem w obecnej wersji, w lokalnej praktyce wprowadzono test weryfikujący krzywą kalibracyjną poprzez odczyt detektorów napromienionych znanymi dawkami.

BRAINLAB



Advanced Motion Management for Lung

Turn motion into context

A streamlined workflow, built for moving targets.

Identify tumors, accurately track them with internal anatomy-based intrafraction monitoring and reposition when they shift during treatment.

Learn more

RT_FL_EN_AdvancedMotionManagementLung_A6_Sept26_Rev1. ExacTrac Dynamic and RT Elements versions required for this workflow are not yet commercially available in several countries. Please contact your sales representative.

Porównanie metod kontroli jakości (PSQA), opartych na EPID i analizie plików dziennikowych (logfile), dla planów realizowanych w fantomie antropomorficznym w warunkach kontrolowanego wprowadzania błędów

Marta Kruszyna-Mochalska[1], Barbara Bajon[1], Kinga Graczyk[1], Krzysztof Matuszewski[1], Adrianna Wojtalik[1], Piotr Romański[1], Paulina Jasiewicz[1], Adam Ryczkowski[1], Tomasz Piotrowski[1]

[1] Wielkopolskie Centrum Onkologii

Współczesna kontrola jakości dostosowana do indywidualnego pacjenta (PSQA) w radioterapii, oprócz konwencjonalnie stosowanych metod analizy, rozwija dodatkowe metody weryfikacji dawki o potencjalnym znaczeniu klinicznym. Metody oparte na obrazowaniu EPID oraz analizie plików dziennikowych (logfile) dostarczają uzupełniających się informacji o poprawności realizacji terapii zarówno przed rozpoczęciem napromieniania pacjenta, jak i metody wykorzystywanych w trakcie napromieniania pacjenta.

Celem opracowania było porównanie metod kontroli jakości (PSQA), opartych na EPID i analizie plików dziennikowych (logfile) dla planów realizowanych w fantomie antropomorficznym w warunkach kontrolowanego wprowadzania błędów.

Przykładowy plan VMAT dla raka gruczołu krokowego zrealizowano na fantomie antropomorficznym z wykorzystaniem akceleratora TrueBeam (Varian). Następnie do planu wprowadzono dwanaście kontrolowanych błędów należących do pięciu klas: błędów kolimatora wielolistkowego (MLC), kolimatora, energii wiązki, rozmiaru pola oraz mocy dawki. Kontrolę PSQA przeprowadzono za pomocą komercyjnie dostępnej platformy SunCHECK (SunNuclear) w trybie przed napromienianiem (F0) oraz w trakcie napromieniania (FN). Weryfikację opartą na EPID oceniano za pomocą analizy gamma (3%, 2 mm), przyjmując współczynnik zgodności gamma GPR ≥ 95%. Weryfikacja oparta na plikach (logfile) umożliwiła trójwymiarową rekonstrukcję rozkładu dawki na obrazach uzyskanych za pomocą CT (F0) i CBCT (FN) oraz ocenę różnic dawki punktowej i średniej w objętościach tarczowych i narządach krytycznych. Za klinicznie istotne uznano odchylenia przekraczające 3%.

Kontrola PSQA oparta na EPID (przy założonych kryteriach oceny parametru gamma) wykryła 8 z 12 błędów. Analiza oparta na plikach (logfile) wykryła 7 z 12 błędów przy zastosowaniu porównania dawki punktowej, lecz wykazała większą czułość po zastosowaniu parametrów średniej dawki wyznaczanych dla poszczególnych struktur, zwłaszcza w przypadku błędów o mniejszym znaczeniu klinicznym. Klinicznie istotne odchylenia dawki (> 3%) zaobserwowano również w scenariuszach spełniających kryteria akceptacji analizy gamma dla EPID.

Metody PSQA oparte na EPID i plikach (logfile) charakteryzują się odmiennymi i wzajemnie uzupełniającymi cechami. Łączne zastosowanie parametrów opartych na analizie gamma i dawce poprawia wykrywanie klinicznie istotnych błędów realizacji napromieniania.

Od surowych sygnałów detektora do krzywych o znaczeniu dozymetrycznym: interpretacja danych Dose3D-Future z wykorzystaniem metody Monte Carlo na platformie G4RT

Jakub Hajduga[1]

[1] Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie

Kontekst i cele: Metody Monte Carlo są szeroko stosowane w radioterapii do przewidywania rozkładów dawki, jednak eksperymentalne sygnały detektorów często zawierają znaczny udział związany z optycznym i elektronicznym łańcuchem odczytu. Ogranicza to znaczenie dozymetryczne surowych pomiarów i może sprawiać, że bezpośrednie porównania z symulacją będą mylące. W niniejszej pracy platforma G4RT jest wykorzystywana nie tylko jako referencyjna platforma dozymetryczna, ale również jako aktywne narzędzie do interpretacji odpowiedzi detektorów. Celem jest oddzielenie fizycznie istotnego, związanego z dawką składnika sygnału Dose3D-Future (D3DF) od tła instrumentalnego, a tym samym odtworzenie krzywych odpowiednich do analizy dozymetrycznej. Dodatkowym celem było pokazanie, że poprawna interpretacja takich danych wymaga wcześniejszej walidacji zarówno transportu promieniowania, jak i geometrii sceny symulacyjnej.

Metody i materiały: Platforma G4RT została najpierw zweryfikowana w odniesieniu do pomiarów w referencyjnym fantomie wodnym dla wiązek fotonów o energii 6 MV, z wykorzystaniem porównania procentowej dawki głębokiej (PDD) oraz profili poprzecznych dla pól o wymiarach 3 × 3 cm^2 i 10 × 10 cm^2. Zweryfikowany model zastosowano następnie do modelu detektora D3DF umieszczonego w konfiguracji fantomu wodnego i napromienionego polem o wymiarach 5 × 5 cm^2. Mierzoną wielkością obserwowalną była częstość zliczeń detektora, natomiast symulowaną wielkością obserwowalną była energia zdeponowana w materiale czułym. Analiza danych została przeprowadzona w trzech etapach: bezpośrednie porównanie danych surowych z symulacją, heurystyczna normalizacja tła oraz procedura korekcji oparta na symulacji, wykorzystująca oszacowania dawki poza polem metodą Monte Carlo w celu oddzielenia sygnału fizycznego od tła łańcucha odczytu. Uwzględniono również oszacowanie niepewności pomiarowej wynikającej ze statystyki zliczeń oraz empiryczne oszacowanie rozrzutu wyników symulacyjnych.

Wyniki: W geometrii odniesienia model G4RT odtworzył zmierzoną krzywą PDD ze wskaźnikami zgodności gamma wynoszącymi 99,9% i 100% dla kryteriów 2%/2 mm, natomiast profile poprzeczne osiągnęły zgodność 100% dla kryteriów 3%/3 mm. Wyniki te potwierdziły poprawność konfiguracji źródła, geometrii, transportu promieniowania oraz procedury analitycznej w warunkach, w których porównywane wielkości mają bezpośrednie znaczenie dozymetryczne. W konfiguracji D3DF porównanie surowych pomiarów PDD z symulacją osiągnęło jedynie 8,3% zgodności gamma dla kryteriów 3%/3 mm, co pokazuje, że prosta normalizacja miała ograniczone znaczenie z punktu widzenia dozymetrii. Korekta heurystyczna pozostała niewystarczająca, osiągając zgodność na poziomie 7,6%. Natomiast procedura oparta na symulacji ustabilizowała różnice i poprawiła zgodność gamma dla PDD do 100%. Wynik ten wskazuje, że sygnał poza polem nie powinien być traktowany jako czyste tło instrumentalne, ponieważ zawiera również fizyczną składową dawki rozproszonej i przecieku. Metoda Monte Carlo pozwoliła tę składową zachować, jednocześnie redukując wkład łańcucha odczytu.

Wnioski: Uzyskane wyniki pokazują, że platforma G4RT może pełnić podwójną rolę: narzędzia walidacyjnego dla klasycznych rozkładów dawki oraz narzędzia wspierającego interpretację eksperymentalnych sygnałów detektorowych. W przypadku detektora D3DF symulacja nie służyła wyłącznie do bezpośredniego porównania z pomiarem, ale umożliwiła przekształcenie surowej odpowiedzi detektora w krzywe o znacznie wyraźniejszym znaczeniu dozymetrycznym. Podejście to może być szczególnie przydatne w analizie detektorów wielokanałowych, w których odpowiedź pomiarowa jest wynikiem jednoczesnego udziału dawki, geometrii detektora, toru optycznego oraz elektroniki odczytu.

Bezpośrednia charakterystyka widma energetycznego wiązek elektronowych akceleratora śródoperacyjnego AQURE oraz wiązek UHDR

Aleksandra Lenartowicz-Gasik[1], Marcin Wiktorowicz[1], Magdalena Dobrzyńska[1], Tomasz Zakrzewski[1], Wojciech Soroka[1], Sławomir Wronka[1], Jacek Rzadkiewicz[1]

[1] Narodowe Centrum Badań Jądrowych

Cel: Energia wiązki elektronowej jest jednym z podstawowych parametrów wykorzystywanych do oceny jakości wiązek stosowanych w radioterapii. W praktyce klinicznej energia wiązki wyznaczana jest na podstawie pomiarów procentowego rozkładu dawki w wodzie (PDD), umożliwiających określenie parametrów energetycznych wiązki na podstawie jej oddziaływania w ośrodku, jednak niedostarczających informacji o pełnym rozkładzie energii elektronów[1]. Widmo energetyczne wiązki stanowi istotny element jej fizycznej charakterystyki, a jego wyznaczanie może dostarczyć dodatkowych informacji o właściwościach wiązki elektronowej[2]. Celem pracy było opracowanie i weryfikacja układu umożliwiającego bezpośredni pomiar widma energetycznego wiązek elektronowych oraz ocenę możliwości jego zastosowania do fizycznej charakterystyki wiązek konwencjonalnych oraz o ultrawysokiej mocy dawki (UHDR).

Materiał i metody: Pomiary widm energetycznych oraz krzywych PDD przeprowadzono dla wiązek elektronowych o mocach dawki od 5 Gy/min do 268 Gy/s, wykorzystując akcelerator śródoperacyjny AQURE oraz jego prototyp pracujący w trybie UHDR[3]. W celu bezpośredniego pomiaru widma energetycznego opracowano układ wykorzystujący odchylenie wiązki elektronowej w polu magnetycznym. System składał się z magnesu dipolowego, ekranu scyntylacyjnego oraz układu rejestracji obrazu umożliwiającego rejestrację położenia i intensywności wiązki po przejściu przez pole magnetyczne. Widmo energetyczne wiązki wyznaczano na podstawie krzywej kalibracyjnej opisującej zależność pomiędzy położeniem wiązki na ekranie scyntylacyjnym a energią elektronów, wyznaczonej z wykorzystaniem symulacji trajektorii elektronów w programie CST Studio Suite[4].

Wyniki: Opracowany układ umożliwił bezpośrednią rejestrację rozkładu energii elektronów oraz wyznaczenie parametrów opisujących charakterystykę energetyczną, tj. energii najbardziej prawdopodobnej (E_p), energii średniej (E_0) oraz szerokości połówkowej widma. Bezpośredni pomiar widma energetycznego dostarczył informacji o rozkładzie energii elektronów w wiązce, niedostępnych w standardowych metodach opartych wyłącznie na pomiarach dawki. Przeprowadzone pomiary potwierdziły możliwość zastosowania układu pomiarowego w szerokim zakresie mocy dawek.

Uzyskane wyniki wykazały systematyczne różnice pomiędzy energią najbardziej prawdopodobną oraz średnią energią wyznaczonymi z bezpośredniego pomiaru widma energetycznego a wartościami określonymi na podstawie parametrów R_p i R_{50} uzyskanych z krzywych PDD. Różnice te wynikają z odmiennego charakteru obu metod – PDD opisuje efektywną jakość wiązki wynikającą z jej oddziaływania w ośrodku, natomiast opracowana metoda umożliwia bezpośrednią ocenę rozkładu energii elektronów.

Wnioski: Opracowany układ umożliwia bezpośredni pomiar pełnego widma energetycznego wiązek elektronowych zarówno w warunkach konwencjonalnych, jak i UHDR. Metoda ta może stanowić uzupełnienie standardowej oceny jakości wiązki opartej na pomiarach PDD oraz znaleźć zastosowanie w fizycznej charakterystyce i ocenie parametrów akceleratorów elektronowych, w tym systemów przeznaczonych do radioterapii FLASH.

Literatura:

1. Deng, J et al. Derivation of electron and photon energy spectra from electron beam central axis depth dose curves. Phys. Med. Biol. 2001, 46(5), 1429–1449. doi:10.1088/0031-9155/46/5/308;
2. Ryczkowski A. et al. "Implementation and validation of the method for the energy spectra reconstruction of electron beams generated by the AQURE mobile accelerator." Rep. Pract. Oncol. Radiother. 2025, 30(1):62–70. doi:10.5603/rpor.104511.;
3. Lenartowicz-Gasik A, et al. Experimental verification of the applicability of the AQURE IOERT accelerator for FLASH radiotherapy. Pol J Med Phys Eng. 2025;31(1):62–72. doi:10.2478/pjmpe-2025-0006;
4. Lenartowicz-Gasik A, et al. Direct Measurements of Energy Spectra Under Ultra-high Dose Rate Electron Beam Conditions. Acta Phys Pol B Proc Suppl. 2026;19(1):1. doi:10.5506/APhysPolBSupp.19.1-A33

PIĄTEK: USTNA SESJA PLAKATOWA

Czy fMRU może zastąpić scyntygrafię MAG3? Wstępna ilościowa ocena czynności nerek (vpDRF, RTT) u dzieci z megaureterem

Małgorzata Grzywińska[1]

[1] Zakład Radiologii, Uniwersyteckie Centrum Kliniczne w Gdańsku

Cel: Ocena przydatności funkcjonalnej urografii rezonansu magnetycznego (fMRU) 3T z postprocessingiem opartym na modelu Patlaka jako metody jednoczesnego obrazowania morfologii i ilościowej oceny czynności nerek u dzieci z megaureterem, w porównaniu z referencyjną scyntygrafią dynamiczną z 99mTc-MAG3. Analizowano zgodność parametrów ilościowych (vpDRF vs. SRF, RTT vs. ½Tmax) oraz ograniczenia obu metod.

Materiał i metoda: Retrospektywnej analizie poddano 142 badania MRU wykonane w latach 2013–2019. Do dalszej oceny włączono 25 pacjentów (mediana wieku 10 miesięcy) z megaureterem (poszerzenie moczowodu > 7 mm). Badania wykonano aparatem Philips Achieva 3T TX z 16-kanałową cewką brzuszną. Protokół obejmował sekwencje hydrograficzne T2 (sMRCP_3D_HR_COR, VISTA, T2W_TSE), DWI oraz dynamiczną sekwencję 3D e-THRIVE po dożylnym podaniu gadobutrolu, z optymalizacją FOV i liczby warstw indywidualnie dla każdego pacjenta w celu poprawy rozdzielczości czasowo-przestrzennej. Pacjenci otrzymywali nawadnianie 10 ml/kg 0,9% NaCl oraz furosemid 0,25-0,5 mg/kg (maks. 15 mg) 15 min przed kontrastem. Analizę dynamiczną przeprowadzono w oprogramowaniu chop-fMRU: segmentacja aorty i nerek w fazie tętniczej, generacja krzywych intensywności sygnału, wyznaczenie CTT, RTT oraz vpDRF (volume Patlak differential renal function). Stopień obstrukcji klasyfikowano w oparciu o RTT (< 4 min – norma, 4–8 min – umiarkowana, > 8 min – znacząca). Scyntygrafię MAG3 wykonano na kamerze Symbia T6 z kolimatorem niskoenergetycznym (okno 140 keV) zgodnie z wytycznymi EANM. Analizę zgodności metod oceniono za pomocą testu Spearmana oraz wykresu Bland-Altman.

Wyniki: Stwierdzono 30 megaureterów w 50 nerkach. Czułość MRU i USG w rozpoznaniu samego megaureteru była identyczna (100%), natomiast MRU znacząco przewyższała USG w wykrywaniu ureteru ektopowego (100% vs 16%) oraz dysplastycznego segmentu moczowodu (4 przypadki widoczne wyłącznie w MRU). Wartości vpDRF mieściły się w zakresie 5,45–94,55% (średnia 49,34%), a SRF w scyntygrafii w zakresie 1,63–98,40% (średnia 50,30%). Wykazano silną korelację względnej funkcji nerek między fMRU a scyntygrafią ($r = 0,657$, $p < 0,001$) oraz umiarkowaną korelację w ocenie stopnia obstrukcji ($r = 0,441$, $p < 0,05$). Wykres Bland-Altman nie wykazał systematycznego trendu ($t = 0,721$, $p = 0,477$), co wskazuje na wymienność metod w ocenie względnej funkcji nerek. W 9 nerkach scyntygrafia była niediagnostyczna z powodu nakładania się aktywności radioznacznika z poszerzonego moczowodu na pole nerki, podczas gdy fMRU pozwoliła na ilościową ocenę we wszystkich przypadkach dzięki rozdzielczości przestrzennej i trójwymiarowej segmentacji.

Wnioski: Wstępne wyniki wskazują, że fMRU 3T z analizą Patlaka pozwala na ilościową ocenę czynności nerek u dzieci z megaureterem porównywalną ze scyntygrafią MAG3 w zakresie względnej funkcji nerek, przy zachowaniu wymienności metod. Przewaga fMRU ujawnia się w przypadkach znacznego poszerzenia moczowodu, gdzie scyntygrafia jest ograniczona przez nakładanie się aktywności radioznacznika na pole nerki. Uzyskane dane stanowią podstawę do dalszych prospektywnych badań na większej grupie pacjentów, mających na celu ocenę, czy fMRU może docelowo zastąpić scyntygrafię MAG3 w diagnostyce wad układu moczowego u dzieci, łącząc ocenę morfologiczną i czynnościową w pojedynczym badaniu bez ekspozycji na promieniowanie jonizujące.

Wpływ wybranych parametrów odczytu detektorów termoluminescencyjnych na niepewność wyznaczania dawki promieniowania jonizującego

Maja Karczmarczyk[1]*, Aleksandra Jung*[1]

[1] AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

Istotnym zagadnieniem w dozymetrii środowiskowej i indywidualnej oraz w radioterapii jest precyzyjna ocena dawki promieniowania jonizującego. Jedną z częściej stosowanych metod pomiaru jest dozymetria za pomocą detektorów termoluminescencyjnych (TL). Ważnym aspektem wpływającym na dokładność i wiarygodność wyników jest dobór odpowiednich filtrów optycznych (zarówno interferencyjnych, jak i szklanych) stosowanych podczas odczytu TL. Celem pracy było zbadanie wpływu parametrów odczytu detektorów termoluminescencyjnych na niepewność wyznaczenia dawki promieniowania jonizującego.

W ramach badań przeanalizowano odpowiedź detektorów MCP-N (LiF:Mg,Cu,P) w zależności od zastosowanych kombinacji filtrów optycznych w czytniku *lexygresearch* TL/OSL reader firmy Freiberg Instruments. Detektory napromieniano znanymi dawkami promieniowania w zakresie 0,15–50 Gy, pochodzącymi ze źródła Sr-90. Zbadano następujące kombinacje filtrów:

Schott BG39, Schott BG25, Thorlabs ND10B (WBB ND10B); Schott BG39, Schott BG25, Thorlaabs ND30B (WBB ND30B); Schott KG3, Semrock HC 475/50 (475nm) i Schott KG3, Schott OG530 (530nm). Dobór kombinacji filtrów miał na celu rejestrację emisji światła TL w różnych zakresach widma spektralnego charakterystycznego dla badanego detektora TL. Analizie zostały poddane właściwości dozymetryczne detektorów, takie jak: powtarzalność i stabilność sygnału, liniowość odpowiedzi, granica detekcji sygnału oraz kształt krzywych TL w zależności od zastosowanych kombinacji filtrów optycznych. Ze względu na ograniczenia czułości fotopowielacza przy zastosowanych kombinacjach filtrów pomiary wykonywano w różnych zakresach dawek promieniowania. Przed każdym napromienianiem detektory zostały poddane anilacji w temperaturze 240°C przez 10 minut. Odczyt sygnału TL prowadzono przy użyciu krzywej grzania do 240°C z szybkością 2°C/s. Najlepsze wyniki w zakresie powtarzalności i stabilności sygnału uzyskano dla kombinacji filtrów WBB ND10B (powtarzalność: 99,80%, stabilność: 99,57%) oraz 475 nm (powtarzalność: 99,73%, stabilność: 99,48%). Filtr WBB ND30B, który zmniejsza 100-krotnie emisję światła, również wykazał bardzo dobrą powtarzalność na poziomie 97,51% i stabilność na poziomie 99,10%. Najniższą powtarzalność (97,08%) i stabilność (99,06%) uzyskano dla kombinacji filtrów 530 nm. Pozornie satysfakcjonujące wyniki liczbowe powtarzalności i stabilności sygnału na daną dawkę promieniowania nie zgadzały się z obserwacjami jakościowymi (zmiana kształtu krzywych TL). Dla filtrów WBB ND10B, 475 nm i WBB ND30B kształt krzywych TL był standardowy i powtarzalny, jednak w przypadku filtra 530 nm zauważono dodatkowy pik przed pikiem głównym, który stanowił około 30% sygnału TL. Wysokość tego dodatkowego piku wzrastała liniowo względem wyższych dawek promieniowania. Stwierdzono, że jeśli detektor był wcześniej napromieniany wyższą dawką promieniowania, to podczas późniejszego napromieniania niższą dawką intensywność dodatkowego piku była większa niż w przypadku napromieniania tylko wyższą dawką. Sumarycznie powodowało to wyższe średnie wskazania detektora o ok. 26%. W przypadku zastosowania innych kombinacji filtrów nie zaobserwowano takiego zjawiska, a średnie różnice wskazań dla filtra WBB ND10B wynosiły odpowiednio 1,17%, WBB ND30B – 5,13% i 475nm – 1,64%.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że najlepszą powtarzalność i stabilność wykazują kombinacje filtrów WBB ND10B oraz 475 nm. W przypadku filtra 530 nm, pomimo wysokiej powtarzalności i stabilności sygnału, zaobserwowany efekt pamięci oraz zmianę kształtu krzywej TL, co może prowadzić do istotnych błędów w wyznaczaniu dawki. Zastosowanie tej kombinacji filtrów może skutkować zawyżeniem wyników pomiarów oraz zwiększeniem niepewności pomiarowej, co ogranicza jej przydatność w precyzyjnej dozymetrii promieniowania jonizującego.

Radiacyjna odpowiedź adaptacyjna – mechanizm ochronny czy czynnik promieniowrażliwości komórek nowotworu gruczołu krokowego

Bartłomiej Kociński[1], Zuzanna Paluch[2], Beata Pszczółkowska-Kępa[3], Agata Taranienko[1], Julianna Krasowska[4], Jan Kłos[4], Juliusz Nowak[4], Krzysztof Fornalski[4], Zygmunt Szefliński[5], Beata Brzozowska[1]

[1] Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki;
[2] Uniwersytet Warszawski, Wydział Chemii;
[3] Uniwersytet Warszawski, Wydział Medyczny;
[4] Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki;
[5] Uniwersytet Warszawski, Środowiskowe Laboratorium Ciężkich Jonów

Radiacyjna odpowiedź adaptacyjna (ang. *radiation adaptive response*, RAR) polega na zmniejszeniu negatywnego efektu biologicznego wysokiej dawki (lub mocy dawki) promieniowania jonizującego (tzw. dawki wyzwalającej) po wcześniejszej ekspozycji na niską dawkę (lub moc dawki) nieletalną (tzw. dawkę poprzedzającą). Zjawisko to może mieć istotne znaczenie kliniczne, ponieważ niskie dawki towarzyszące m.in. procedurom obrazowania oraz weryfikacji ułożenia pacjenta mogą potencjalnie modyfikować odpowiedź biologiczną na późniejsze napromienienie. Celem badania była ocena występowania odpowiedzi adaptacyjnej komórek nowotworu gruczołu krokowego linii PC3 i DU145 o różnej promieniowrażliwości oraz określenie wpływu odstępu czasowego między dawką poprzedzającą i wyzwalającą na indukcję RAR.

Komórki zostały poddane działaniu promieniowania X dawką poprzedzającą wynoszącą (59,5 ± 9,5) mGy, a następnie dawką wyzwalającą (2,00 ± 0,34) Gy po 24, 48 lub 120 godzinach. Odpowiedź biologiczną oceniano za pomocą klonogennego testu przeżywalności. Wyznaczano frakcję przeżywalności komórek oraz parametr δ, określający względną różnicę w odpowiedzi biologicznej pomiędzy ekspozycją wyłącznie na dawkę wyzwalającą a ekspozycją na dawkę wyzwalającą zastosowaną po wcześniejszej ekspozycji na dawkę poprzedzającą. Poza oceną odpowiedzi komórek na promieniowanie na podstawie przeżywalności komórkowej analizowano również średnią liczbę ognisk γ-H2AX w jądrach komórkowych. Ogniska te powstają w miejscach występowania dwuniciowych pęknięć DNA i są wykorzystywane jako marker zarówno indukcji uszkodzeń DNA, jak i przebiegu procesu ich naprawy. Pomiary wykonywano po 0,5; 1; 3; 6 oraz 24 godzinach od podania dawki wyzwalającej, co umożliwiło ocenę kinetyki naprawy uszkodzeń DNA po napromienieniu.

Uzyskane wyniki wskazują, że zastosowanie dawki poprzedzającej nie prowadziło do istotnego statystycznie zwiększenia przeżywalności komórek żadnej z badanych linii, w tym również bardziej promieniowrażliwych komórek PC3, w porównaniu z ekspozycją wyłącznie na dawkę wyzwalającą 2 Gy. Analiza przeżywalności komórek oraz kinetyki zmian liczby ognisk γ-H2AX nie potwierdziła występowania radiacyjnej odpowiedzi adaptacyjnej. Nie zaobserwowano istotnych zmian w liczbie indukowanych uszkodzeń DNA ani przyspieszenia ich naprawy po wcześniejszej ekspozycji na dawkę poprzedzającą, niezależnie od zastosowanego odstępu czasowego pomiędzy ekspozycjami.

Wystąpienie radiacyjnej odpowiedzi adaptacyjnej nie jest zjawiskiem uniwersalnym i może zależeć od specyfiki układu doświadczalnego, w tym właściwości biologicznych badanych komórek, wartości dawki poprzedzającej oraz odstępu czasowego pomiędzy ekspozycjami. Oznacza to, że obecność lub brak obserwowanej odpowiedzi adaptacyjnej powinny być interpretowane w kontekście zastosowanych warunków eksperymentalnych. Dlatego istotne jest kompleksowe raportowanie wyników badań dotyczących RAR, obejmujące zarówno przypadki występowania efektu, jak i układy, w których nie został on zaobserwowany, co pozwala na lepsze określenie czynników warunkujących jego indukcję.

Projekt fantomu do weryfikacji geometrii systemu planowania brachyterapii prostaty

Agata Lewandowska[1], Anna Kociemba[1], Oliwia Nowotka[1], Maksymilian Kazior[1], Justyna Krupka[1]

[1] Międzynarodowe Centrum Onkologii Affidea Poznań

Wstęp: Ultrasonografia stanowi podstawowe narzędzie obrazowania wykorzystywane podczas planowania i realizacji brachyterapii prostaty, umożliwiając wizualizację gruczołu krokowego oraz sąsiadujących narządów krytycznych. Ze względu na konieczność zapewnienia wysokiej dokładności przestrzennej podczas umieszczania aplikatorów i dostarczania dawki promieniowania, niezbędna jest regularna kontrola geometrii systemu planowania brachyterapii. Procedury te obejmują między innymi ocenę jakości obrazu, weryfikację odległości referencyjnych wyznaczanych przed zabiegiem oraz kontrolę długości aplikatorów.

Dostępne komercyjnie fantomy przeznaczone do testowania sond ultrasonograficznych nie są powszechnie stosowane ze względu na ich wysoki koszt. W praktyce klinicznej często wykorzystuje się alternatywne układy pomiarowe w postaci pojemników wypełnionych wodą. Rozwiązanie to wymaga jednak prowadzenia pomiarów w płaszczyźnie pionowej, co może stanowić dodatkowe źródło niepewności i odbiega od rzeczywistych warunków klinicznych.

Cel: Celem pracy było opracowanie fantomu umożliwiającego realizację testów geometrii systemu planowania brachyterapii prostaty w warunkach możliwie najbardziej zbliżonych do procedur klinicznych.

Metoda: Jako materiał do wykonania fantomu wybrano plastizol ze względu na jego właściwości mechaniczne. Materiał ten charakteryzuje się odpowiednią plastycznością oraz dobrą widocznością w obrazowaniu ultrasonograficznym. Dodatkową zaletą jest niski koszt oraz łatwa dostępność materiałów niezbędnych do jego przygotowania. Wymaganą twardość fantomu uzyskano poprzez dobór odpowiedniego rodzaju plastizolu oraz proporcji dedykowanego utwardzacza.

W celu wykonania fantomu zaprojektowano i wydrukowano indywidualną formę z wykorzystaniem technologii druku 3D. Geometrię formy opracowano w taki sposób, aby umożliwić uzyskanie bryły zawierającej kanał przeznaczony do umieszczenia sondy ultrasonograficznej. Średnicę kanału dobrano na podstawie dokładnych pomiarów sondy USG, co pozwoliło na możliwie ścisłe dopasowanie fantomu do jej powierzchni. Takie rozwiązanie ogranicza występowanie szczelin powietrznych pomiędzy sondą a fantomem, a tym samym minimalizuje ryzyko powstawania artefaktów obrazowych.

Forma została wydrukowana z materiału PLA przy użyciu drukarki Adventurer 3 Flashforge. Pozwoliło to na ograniczenie kosztów wykonania oraz łatwe dostosowanie projektu do indywidualnych wymagań geometrycznych.

Wnioski: Zaprojektowany fantom stanowi praktyczne narzędzie do weryfikacji geometrii systemu planowania brachyterapii prostaty. W przeciwieństwie do powszechnie stosowanych układów pomiarowych w postaci pojemników wypełnionych wodą, opracowane rozwiązanie umożliwia prowadzenie pomiarów w płaszczyźnie poziomej, odpowiadającej rzeczywistemu ułożeniu sondy podczas zabiegu. Dzięki niskiemu kosztowi oraz prostocie wykonania, a także możliwości dostosowania geometrii do wykorzystywanej aparatury, fantom może być wdrożony do rutynowych procedur kontroli jakości w ośrodkach prowadzących brachyterapię prostaty.

Badanie MRI zatok przynosowych o rozdzielczości 0,31 mm sekwencją ultrakrótkiego czasu echa: charakterystyka obrazowania w badaniu proof-of-concept

Philipp Lipowski[1], Tomasz K. Nowicki[1], Kamil Cepuch[2], Stefan Sommer[2], Edyta Szurowska[1]

[1] II Zakład Radiologii, Wydział Nauk o Zdrowiu z Instytutem Medycyny Morskiej i Tropikalnej, Gdański Uniwersytet Medyczny, Gdańsk, Polska;

[2] Siemens Healthineers, Siemens Healthcare AG, Erlangen, Germany

Cel: Celem pracy była eksploracyjna ocena parametrów obrazowania ultrawysokorozdzielczego obrazowania MRI jamy nosowej i zatok przynosowych z użyciem badawczej sekwencji ultrakrótkiego czasu echa (UTE). Projekt miał charakter *proof-of-concept* i koncentrował się na uzyskaniu obrazów o bardzo wysokiej rozdzielczości izotropowej w regionie anatomicznym trudnym dla modalności rezonansu magnetycznego (MRI) z powodu licznych granic powietrze–tkanka, efektów podatności magnetycznej, niejednorodności pola oraz ograniczonego sygnału ze struktur o bardzo krótkim czasie T2 (kości).

Materiał i metody: Obrazowanie wykonano na aparacie Siemens Magnetom VIDA o natężeniu pola 3T, z użyciem roboczej sekwencji 3D gradient echo typu UTE/*near-zero TE*. Badania wykonano na 20 ochotnikach, u których zastosowano radialną akwizycję 3D z liniami k prowadzonymi od centrum przestrzeni k do powierzchni sfery oraz strategią akwizycji typu *half-Fourier*. Parametry sekwencji obejmowały: TE (czas echa) 0,04 ms, TR (czas repetycji) 300,2 ms, kąt odchylenia 6°, szerokość pasma 399, macierz wokseli 448 × 448, FOV 140 mm, akwizycyjna rozdzielczość izotropowa 0,31 mm, 65 520 linii k na akwizycję oraz czas akwizycji 10:56 min. Akwizycję wykonano w płaszczyźnie transwersalnej celem zminimalizowania artefaktów pochodzących od kierunku kodowania fazy. W kierunku kodowania warstw (drugi kierunek kodowania fazy charakterystyczny dla akwizycji 3D) wykorzystano nadpróbkowanie 200%. Wykorzystano 20-kanałową cewkę Head/Neck z wykorzystaniem dodatkowych cewek SP4 dla lokalnego wzmocnienia sygnału w okolicy zatok. Włączono opcję kontrastu transferu magnetyzacji (*magnetization transfer contrast*) oraz opcję *RF spoiling*. Oceniano uzyskane rekonstrukcje MPR (*multiplanar reformation*) oraz wizualizację drobnych struktur anatomicznych jamy nosowej i zatok przynosowych.

Wyniki: Uzyskano obrazy MRI jamy nosowej i zatok przynosowych o akwizycyjnej rozdzielczości izotropowej 0,31 mm. Uzyskane dane umożliwiały rekonstrukcje w płaszczyznach osiowej, czołowej i strzałkowej bez utraty rozdzielczości w płaszczyźnie wtórnej. Obrazy wykazały szczegółowe odwzorowanie struktur i granic anatomicznych w obszarze zawierającym liczne interfejsy powietrze–tkanka, przy zachowaniu cech kontrastowości charakterystycznych dla MRI. Wyniki należy interpretować jako wstępną eksplorację obserwowanych właściwości obrazów. Na obecnym etapie nie wykonano ilościowej analizy jakości obrazu, oceny powtarzalności ani systematycznej analizy barier wdrożeniowych, takich jak czas badania, podatność na ruch, dostępność cewek dodatkowych i status sekwencji badawczej.

Wnioski: Ultrawysokorozdzielcze obrazowanie MRI UTE zatok przynosowych na systemie 3T zostało przeprowadzone w warunkach badawczych i pozwala uzyskać obrazy o bardzo wysokiej rozdzielczości izotropowej w regionie tradycyjnie trudnym dla rezonansu magnetycznego.

Najważniejszym aspektem pracy jest opis zastosowanego podejścia technicznego sekwencji badawczej oraz identyfikacja obszarów wymagających dalszej walidacji. Ewentualne zastosowania wymagają dalszych badań np. obejmujących większą liczbę przypadków, formalną ocenę jakości obrazów, ocenę tolerancji badania przez pacjentów ze względu na czas trwania oraz analizę praktycznych ograniczeń wdrożenia.

Integracja zaawansowanych technik radioterapii poprzez standaryzowane ścieżki leczenia ARIA (ARIA Care Paths)

Agnieszka Skrobala[1], Joanna Litoborska[2], Maria Radomiak[2], Agata Jodda[2], Marta Adamczyk[2], Sara Stys[2], Weronika Kijeska[2], Wiktoria Sonska[2], Adam Ryczkowski[2]

[1] Zakład Fizyki Medycznej, Wielkopolskie Centrum Onkologii, Poznań, Katedra i Zakład Elektroradiologii, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu;
[2] Zakład Fizyki Medycznej, Wielkopolskie Centrum Onkologii, Poznań

Cel: Nowoczesne zakłady radioterapii muszą zachować równowagę między bezpieczeństwem pacjentów, efektywnością organizacji pracy oraz elastycznością niezbędną do realizacji zaawansowanych technik leczenia. Celem pracy była ocena autorskich, dostosowanych do potrzeb ośrodka, ścieżek leczenia ARIA Care Paths jako narzędzia umożliwiającego standaryzację i harmonizację procesu radioterapii w wysokowydajnej, wielośrodkowej sieci.

Materiał i metody: Wielkopolskie Centrum Onkologii leczy około 6000 pacjentów rocznie w trzech lokalizacjach, wykorzystując 11 aparatów terapeutycznych: 8 akceleratorów TrueBeam, 2 systemy CyberKnife oraz 1 aparat Tomotherapy. Planowanie leczenia realizowane jest w systemach Eclipse, Precision oraz RayStation. W celu ujednolicenia procesu od symulacji do rozpoczęcia leczenia wdrożono spersonalizowane ścieżki ARIA Care Paths. Opracowano szablony postępowania, wizualne kolejki zadań, zdefiniowane harmonogramy oraz obowiązkowe punkty kontroli jakości obejmujące konturowanie, planowanie leczenia, weryfikację dozymetryczną, zatwierdzanie planów oraz kontrolę jakości specyficzną dla pacjenta z wykorzystaniem systemów SunCheck, ArcCheck i PTW Octavius.

Wyniki: Wdrożenie ARIA Care Paths umożliwiło standaryzację procesu przygotowania leczenia w postaci siedmiodniowej ścieżki obejmującej: 2 dni na przygotowanie medyczne i konturowanie struktur, 3 dni na planowanie leczenia, 1 dzień na kontrolę jakości wykonywaną przez fizyka medycznego oraz 1 dzień na końcową dokumentację i dopuszczenie leczenia do realizacji. Zastosowanie ścieżek poprawiło przejrzystość realizowanych zadań, koordynację pracy oraz kontrolę terminów zarówno w rutynowej działalności, jak i w okresach zwiększonego obciążenia (np. zmian wydajności, unowocześnienia systemu). Elektronicznie wymuszane etapy procesu uniemożliwiały przejście do kolejnych kroków przed wykonaniem wymaganych zadań i kontrolą bezpieczeństwa. Rozwiązanie to zapewniło spójność postępowania pomiędzy różnymi technologiami i lokalizacjami, ograniczyło liczbę drobnych błędów organizacyjnych oraz wiązało się z brakiem poważnych incydentów.

Wnioski: Ścieżki ARIA Care Paths umożliwiły harmonizację procesu radioterapii pomiędzy trzema ośrodkami oraz różnymi platformami terapeutycznymi, w tym TrueBeam, CyberKnife i Tomotherapy. Standaryzowane elektroniczne punkty kontroli ograniczyły zmienność procesu, usprawniły komunikację między członkami zespołu oraz zwiększyły bezpieczeństwo pacjentów, zachowując jednocześnie elastyczność niezbędną do realizacji zaawansowanych technik radioterapii. Jednolita, ustrukturyzowana ścieżka postępowania zapewniła terminowe i spójne przygotowanie leczenia niezależnie od zastosowanej technologii, lokalizacji ośrodka czy poziomu obciążenia pracą.

Kontrola jakości stereotaktycznych planów leczenia z wykorzystaniem detektorów alaninowych w systemie CyberKnife

Adrianna Wojtalik[1], Piotr Romański[1], Kinga Graczyk[2], Paulina Jasiewicz[1], Maria Radomiak[1], Agnieszka Skrobała[3], Barbara Bajon[1], Marta Kruszyna-Mochalska[3]

[1] Zakład Fizyki Medycznej, Wielkopolskie Centrum Onkologii, Garbary 15, Poznań;
[2] Zakład Fizyki Medycznej, Wielkopolskie Centrum Onkologii, Garbary 15, Poznań; Katedra i Zakład Elektroradiologii, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, Garbary 15, Poznań; Szkoła Doktorska, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego;
[3] Zakład Fizyki Medycznej, Wielkopolskie Centrum Onkologii, Garbary 15, Poznań; Katedra i Zakład Elektroradiologii, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, Garbary 15, Poznań

Wstęp: Radioterapia stereotaktyczna umożliwia dostarczenie wysokich dawek do zmian wewnątrzczaszkowych, również zlokalizowanych w pobliżu narządów krytycznych. Weryfikacja dozymetryczna takich planów wymaga zastosowania metod charakteryzujących się dokładnością pomiarową, w tym wysoką rozdzielczością przestrzenną oraz stabilną odpowiedzią w szerokim zakresie dawek. Dozymetria alaninowa umożliwia precyzyjny pomiar w punkcie, charakteryzuje się liniową zależnością sygnału od dawki, niewielką zależnością odpowiedzi od mocy dawki i kąta padania wiązki promieniowania oraz dobrą powtarzalnością i stabilnością odczytu. Przydatność dozymetrii alaninowej jako dodatkowej, niezależnej metody weryfikacji oceniono w porównaniu z metodami rutynowo stosowanymi w kontroli jakości planów leczenia: dozymetrią filmową oraz pomiarami z wykorzystaniem matrycy wielodetektorowej.

Cel: Celem pracy była ocena przydatności detektorów alaninowych (Aerial) do weryfikacji dozymetrycznej stereotaktycznych planów leczenia, realizowanych z wykorzystaniem wiązek fotonowych bez filtra spłaszczającego (FFF, flattening filter free) o efektywnym potencjale przyspieszającym 6 MV, w systemie CyberKnife VSI (Accuray).

Materiał i metody: Analizie poddano 10 planów leczenia zweryfikowanych w fantomie antropomorficznym (Accuray) z wykorzystaniem detektorów alaninowych i filmów radiochromowych EBT-XD (Ashland), a także w fantomie statycznym Octavius (PTW) z matrycą wielodetektorową SRS 1600 (PTW). Dawki frakcyjne dla planów leczenia wynosiły 10–21 Gy, stosowane średnice kolimatorów mieściły się w zakresie 5–25 mm, a średni rozmiar zastosowanego kolimatora wynosił 11,17 mm (6,72–18,68 mm).

Sygnał z detektorów alaninowych odczytano metodą spektroskopii elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR) za pomocą spektrometru Magnettech ESR 5000 (Bruker BioSpin), wykorzystując następujące parametry odczytu: pole magnetyczne 320–360 mT, czas przemiatania 30 s, moc 10 mW, amplituda modulacji 0,7 mT. Filmy zeskanowano skanerem Expression 12000XL (Epson) w trybie transmisyjnym (72dpi, 48-bit RGB, bez dodatkowych korekcji obrazu). Odczyt sygnału alaniny przeprowadzono 48 godzin po napromienieniu, a filmów radiochromowych po 24 godzinach.

Dawkę metodą EPR wyznaczono na podstawie najwyższej wartości bezwzględnej sygnału rodnika alaninowego. Rozkłady dawki, uzyskane w trakcie pomiarów z wykorzystaniem filmów i matrycy, analizowano w oprogramowaniu VeriSoft (PTW), stosując analizę gamma z normalizacją lokalną. Dla filmów zastosowano kryteria 2%/2 mm z progiem odcięcia dawki 20% i akceptacją przy zgodności > 95% (GPR, Gamma Passing Rate) oraz 3%/1 mm z progiem odcięcia 50% przy GPR > 90%, a dla matrycy kryterium 2%/2 mm z progiem odcięcia 10% przy GPR > 95%. Wyniki pomiarów porównano z wartościami obliczonymi w TPS.

Wyniki: Wyniki wszystkich zastosowanych metod pomiarowych potwierdziły prawidłowe dostarczenie zaplanowanego rozkładu dawki z kryterium akceptacji ±5%. Średnia względna różnica między dawkami zmierzonymi za pomocą detektorów alaninowych a wartościami obliczonymi w TPS wyniosła 1,4 ± 2,9%, co wskazuje na dobrą skuteczność metody. Analiza dwuwymiarowych rozkładów dawki zarejestrowanych za pomocą filmów wykazała zgodność z przyjętymi kryteriami akceptacji. Średni odsetek punktów spełniających kryteria gamma dla metody filmowej wyniósł odpowiednio 98,3 ± 1,2% (2%, 2 mm, TH 20%) oraz 94,0 ± 3,6% (3%, 1 mm, TH 50%). Dla matrycy uzyskano średnią zgodność na poziomie 99,2 ± 1,4%.

Wnioski: Dozymetria alaninowa może stanowić niezależną metodę weryfikacji dawki oraz uzupełniać ocenę dwuwymiarowych rozkładów dawki w radioterapii stereotaktycznej. Przed wdrożeniem metody do rutynowej praktyki klinicznej konieczne są dalsze badania obejmujące większą liczbę przypadków, ocenę powtarzalności i analizę niepewności pomiarowej.

Wykorzystanie spektroskopii i obrazowania wibracyjnego w badaniach nad prewencją raka żołądka

Karolina W. Łakomy[1], Weronika Gonciarz[2], Magdalena Chmiela[2], Joanna Chwiej[1]

[1] Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Kraków;
[2] Instytut Mikrobiologii, Biotechnologii i Immunologii, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Łódzki, Łódź

Rak żołądka należy do najczęściej występujących nowotworów złośliwych na świecie oraz w Polsce, a liczba zgonów z jego powodu pozostaje zbliżona do liczby nowych zachorowań. Jednym z najważniejszych czynników ryzyka jego rozwoju jest przewlekłe zakażenie bakterią *Helicobacter pylori (H. pylori)*, uznaną przez Międzynarodową Agencję Badań nad Rakiem (IARC) za czynnik rakotwórczy dla ludzi. Wysoka częstość występowania zakażenia oraz narastająca oporność *H. pylori* na antybiotyki uzasadniają poszukiwanie nowych strategii profilaktycznych i terapeutycznych. Potencjalnym rozwiązaniem może być szczepionka

Onco-BCG, zawierająca atenuowane prątki *Mycobacterium bovis (M. bovis)*, wykazująca nieswoiste działanie immunomodulujące oraz znajdująca zastosowanie w immunoterapii wybranych nowotworów.

Celem niniejszych badań było określenie biomolekularnych skutków zakażenia *H. pylori* oraz ocena wpływu wcześniejszej immunizacji szczepionką Onco-BCG na odpowiedź organizmu gospodarza z wykorzystaniem mikrospektroskopii w podczerwieni z transformacją Fouriera (FTIR) oraz spektroskopii Ramana. Badania przeprowadzono na modelu kawii domowej (*Cavia porcellus*), analizując osocze krwi, tkankę żołądka oraz śledzionę. Eksperyment na zwierzętach przeprowadzono w Instytucie Mikrobiologii, Biotechnologii i Immunologii na Wydziale Biologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Łódzkiego. Pomiary z wykorzystaniem mikrospektroskopii FTIR oraz spektroskopii Ramana przeprowadzono w laboratorium Biospektroskopii Atomowej i Molekularnej na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH.

Uzyskane wyniki wskazują, że wcześniejsza immunizacja szczepionką *M. bovis* Onco-BCG może modyfikować odpowiedź organizmu na zakażenie *H. pylori*, szczególnie w tkankach związanych z funkcjonowaniem układu odpornościowego. Zaobserwowane zmiany sugerują potencjalne działanie immunomodulujące szczepionki oraz wskazują możliwe kierunki dalszych badań nad mechanizmami jej działania. Przeprowadzone badania mogą przyczynić się do lepszego zrozumienia procesów towarzyszących zakażeniu *H. pylori* oraz wspierać poszukiwanie nowych biomarkerów zakażenia i strategii profilaktyczno-terapeutycznych.

Czy sposób definiowania funkcji celu na etapie planowania leczenia wpływa na jakość realizowanej terapii w każdej z poszczególnych frakcji?

*Magdalena **Łukowiak**[1], Karolina Jezierska[2]*

[1] Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie, Zakład Fizyki Medycznej, ul. Ku Słońcu 13, 71-073 Szczecin. Zachodniopomorskie Centrum Onkologii, Zakład Fizyki Medycznej, ul. Strzałowska 22, 71-730 Szczecin;
[2] Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie, Zakład Fizyki Medycznej, ul. Ku Słońcu 13, 71-073 Szczecin

Wprowadzenie i cel: Radioterapia adaptacyjna online umożliwia dostosowanie zaplanowanego rozkładu dawki do aktualnego położenia i kształtu zarówno objętości tarczowej, jak i otaczających ją organów ryzyka. Jest to szczególnie przydatne w przypadku nowotworów stercza, gdzie ruch i deformacja prostaty w dużej mierze uzależnione są od zmiennego wypełnienia pęcherza moczowego oraz odbytnicy. Rozkład dawki, jaki finalnie otrzymuje pacjent, oblicza się na podstawie nowych konturów, przy uwzględnieniu celów terapeutycznych zdefiniowanych na etapie planowania leczenia.

Celem badania było sprawdzenie, czy sposób definiowania funkcji celu (kryteriów) na etapie planowania leczenia wpływa na jakość realizowanej terapii w każdej frakcji.

Metodologia: Przeprowadziliśmy retrospektywną analizę rozkładu dawki u 20 pacjentów z nowotworem stercza, obejmującą 100 całkowitych frakcji leczenia oraz 20 planów referencyjnych. U każdego pacjenta porównywaliśmy referencyjny rozkład dawki z rozkładem dawki otrzymanym w kolejnych frakcjach leczenia. U wszystkich pacjentów zastosowano leczenie stereotaktyczne, podając dawkę frakcyjną 7,25 Gy do łącznej dawki 36,25 Gy. Radioterapia adaptacyjna realizowana była na aparacie Ethos firmy Varian.

Pacjenci zostali podzieleni na dwie równe grupy. W grupie pierwszej definiowanie funkcji celu ograniczało się jedynie do zdefiniowania kryteriów zawartych w zleceniu. W grupie drugiej definiowanie funkcji celu optymalizatora podczas terapii zostało rozszerzone o dodatkowe punkty – kryteria do spełnienia, rozłożone na całej krzywej histogramu.

Analizę porównawczą otrzymanych rozkładów dawek dla obu grup pacjentów przeprowadzono, wykorzystując średni błąd bezwzględny (MAE), średnią różnicę (MD) oraz maksymalny błąd bezwzględny (MaxAE). Dla każdego pacjenta obliczono dodatkowo średnią wartość V8 z pięciu frakcji adaptacyjnych, a następnie wyznaczono MD oraz MAE w odniesieniu do planu referencyjnego. Porównania między grupami przeprowadzono testem U Manna–Whitneya lub testem t-Studenta przy poziomie istotności p = 0,05

Wyniki: W grupie pierwszej zróżnicowanie wyników pomiędzy wartościami przewidywanymi (referencyjnym rozkładem dawki) a adaptacyjnym planem frakcyjnym było bardziej widoczne w porównaniu z pacjentami z grupy drugiej, gdzie przewidywane wartości DVH i rozkłady dawek wykazały wysoką zgodność z wartościami referencyjnymi, w zakresie całej krzywej. Istotne statystycznie okazały się różnice jedynie pomiędzy narządami krytycznymi. W grupie pierwszej średnie dla odbytnicy wynosiły: MAE = 9,25%, MD = -6,60% i MaxAE = 25,48%, a dla pęcherza moczowego MAE = 8,28%, MD = -4,73% oraz MaxAE = 22,93%. W grupie drugiej średnie dla odbytnicy wynosiły: MAE = 2,36%, MD = -0,23% i MaxAE = 9,13%, a dla pęcherza moczowego MAE = 3,04%, MD = 1,63% i MaxAE = 11,6%.

Pomimo braku istotnych różnic w referencyjnych wartościach V8 między grupami, w grupie drugiej wartości uzyskiwane w kolejnych frakcjach wykazywały istotnie większą zgodność z planem referencyjnym. W grupie pierwszej stwierdzono większe wartości MAE dla pęcherza moczowego i odbytnicy oraz większy dodatni MD, szczególnie dla odbytnicy, co wskazuje na większe i systematyczne odchylenia V8 podczas leczenia. Dodatkowo zaobserwowano wyraźnie większy rozrzut tych parametrów, co wskazuje na większą międzyosobniczą zmienność zgodności realizowanych frakcji z planem referencyjnym. Zjawisko to było szczególnie widoczne dla V8 pęcherza moczowego, gdzie część pacjentów wykazywała niewielkie odchylenia, natomiast u innych różnice względem planu referencyjnego były bardzo duże.

Wnioski: Sposób definiowania funkcji celu na etapie planowania wiązał się ze zgodnością frakcyjnych rozkładów dawki z planem referencyjnym, szczególnie w przypadku pęcherza moczowego i odbytnicy. Należy pamiętać, że na rzeczywisty rozkład dawki wpływają również zmiany anatomiczne, w tym przede wszystkim zmienne wypełnienie pęcherza moczowego i odbytnicy.

SOBOTA, SESJA: PROTONY, SGRT

Powtarzalność i dokładność pozycjonowania pacjentek leczonych techniką DIBH z zastosowaniem systemów SGRT

Aleksandra Borkowska[1], Katarzyna Matusiak[1], Andrzej Chmiel[2], Agata Dankowska[2]

[1] AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;
[2] Uniwersytecki Szpital Dziecięcy w Krakowie

Technika napromieniania na głębokim wstrzymanym wdechu (DIBH) jest powszechnie stosowaną metodą w radioterapii nowotworów piersi, pozwalającą na ograniczenie dawki promieniowania docierającej do narządów krytycznych, w szczególności serca i płuc. Skuteczność tej techniki zależy od uzyskania wysokiej powtarzalności oraz dokładności pozycjonowania pacjentek podczas każdej frakcji leczenia.

Celem pracy jest ocena precyzji pozycjonowania pacjentek leczonych z powodu nowotworów piersi w technice DIBH przy zastosowaniu metod radioterapii sterowanej obrazem powierzchni ciała (SGRT).

Analizie poddano dane pochodzące z systemu monitorowania powierzchni ciała pacjenta AlignRT. Do opracowania i analizy danych wykorzystano autorską aplikację, umożliwiającą ocenę parametrów związanych z powtarzalnością i dokładnością pozycjonowania pacjentek podczas kolejnych frakcji leczenia.

Głównymi parametrami określającymi precyzję i powtarzalność były wartości przesunięcia rejestrowanej powierzchni ciała względem obszaru referencyjnego (ROI) oraz czas wstrzymania wdechu podczas poszczególnych procedur prowadzonych w trakcie frakcji napromieniania. Analizie poddane zostały dane pochodzące z leczenia 31 pacjentek, łącznie w 459 frakcjach. W trakcie obrazowania CBCT przed napromienianiem średnie przesunięcie rejestrowane przez system AlignRT wyniosło 0,38 ± 0,83 mm. Dla porównania, wartości uzyskane z systemu obrazowania rentgenowskiego charakteryzowały się średnim przesunięciem -0,46 ± 1,96 mm. Podczas właściwego napromieniania średnie przesunięcie względem ROI wyniosło 0,23 ± 0,55 mm, co wskazuje na wysoką stabilność pozycjonowania pacjentek w trakcie realizacji leczenia.

Średni czas pojedynczego wstrzymania oddechu podczas wykonywania CBCT wynosił 40 ± 2 s, natomiast podczas napromieniania 35 ± 11 s. Analiza indywidualnych wyników wykazała zróżnicowaną powtarzalność pomiędzy pacjentkami. U części pacjentek obserwowano wysoką odtwarzalność parametrów pozycjonowania i czasu wstrzymania oddechu pomiędzy kolejnymi frakcjami, podczas gdy u pozostałych stwierdzono większą zmienność tych parametrów.

Wykorzystanie technik SGRT w radioterapii prowadzonej techniką na głębokim wstrzymanym wdechu stanowi bardzo dobrą metodę weryfikacji ułożenia oraz narzędzie kontroli ruchomości oddechowej, a także jest doskonałym uzupełnieniem stosowanych dotychczas metod tomograficznych.

Radioterapia protonowa pacjenta pediatrycznego z zastosowaniem metody fiksacji gałki ocznej na stanowisku gantry – opis przypadku

Gabriela Foltyńska[1], Dawid Krzempek[1], Kamil Kisielewicz[2], Weronika Dziechciarz[1], Monika Lipa[1], Monika Radolińska[1], Tomasz Mikołajski[1], Marzena Rydygier[1], Renata Kopeć[1], Joanna Jędrzejczak-Młodziejewska[3], Katarzyna Drosik-Rutowicz[2]

[1] Centrum Cyklotronowe Bronowice, Instytut Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie;
[2] Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział w Krakowie;
[3] Klinika Okulistyki, Instytut „Pomnik-Centrum Zdrowia Dziecka"

Wstęp/Cel: Radioterapia protonowa zmian zlokalizowanych w okolicy gałki ocznej i oczodołu wymaga bardzo wysokiej precyzji ze względu na bliskie sąsiedztwo narządów krytycznych.

Celem niniejszej pracy jest opis przypadku pacjentki pediatrycznej z naczyniakiem naczyniówki lewej gałki ocznej, u której ze względu na brak możliwości leczenia na dedykowanym stanowisku do radioterapii gałki ocznej, napromienianie przeprowadzono na stanowisku gantry. Przedstawiono niestandardowe rozwiązanie techniczne umożliwiające skuteczną immobilizację gałki ocznej i minimalizację dawki na soczewkę.

Materiały i metody: Pacjentką była 10-letnia dziewczynka z rozpoznaniem naczyniaka naczyniówki lewej gałki ocznej. Zmiana spowodowała odwarstwienie siatkówki, w wyniku którego pacjentka nie widziała na lewe oko. Ze względu na szansę ponownego przyklejenia siatkówki po regresji naczyniaka istotne było ograniczenie dawki na soczewkę.

Zmiana zlokalizowana była stosunkowo płytko (< 4 g/cm²), co wymagało zastosowania materiału redukującego energię wiązki protonowej. Standardowy modyfikator zasięgu (Range Shifter – RS) montowany na głowicy znacząco zwiększa lateralny rozmiar wiązki i pogarsza półcień ze względu na dużą odległość od pacjenta (ok. 40 cm). Z tego powodu zastosowano indywidualny kompensator wydrukowany w technologii 3D z tworzywa ABS, mocowany bezpośrednio do maski termoplastycznej pacjenta.

Projekt kompensatora rozbudowano o wysięgnik zakończony punktem świetlnym (LED). Podczas napromieniania pacjentka fiksowała wzrok prawym (zdrowym) okiem na diodę LED, co

zapewniało stabilną i powtarzalną pozycję lewej gałki ocznej względem wiązki. Powtarzalność położenia soczewki zweryfikowano za pomocą serii niskodawkowych skanów tomografii komputerowej (CT) przed rozpoczęciem leczenia.

Leczenie przeprowadzono na stanowisku gantry z wykorzystaniem wiązki skanującej (PBS). Dawka całkowita wyniosła 24 Gy w 12 frakcjach. Zastosowano 3 pola terapeutyczne.

Wyniki: Zastosowane rozwiązanie umożliwiło uzyskanie planowanego pokrycia objętości tarczowej (V95 = 98,17%, D98 = 95,23%, D2 = 103,93%) przy jednoczesnym ograniczeniu dawki w narządach krytycznych.

Uzyskane parametry dozymetryczne wyniosły:

Soczewka lewa: Dmax = 21,49 Gy(RBE), Dmean = 19,99 Gy(RBE), nerw wzrokowy lewy: Dmax = 24,40 Gy(RBE), gałka oczna: Dmean = 23,77 Gy(RBE).

Dzięki zastosowaniu fiksacji wzroku uzyskano redukcję dawki w soczewce o około 2 Gy względem planu referencyjnego zakładającego brak kontroli położenia gałki ocznej. Zastosowanie indywidualnego kompensatora 3D pozwoliło na dalsze zmniejszenie dawki maksymalnej w soczewce o kolejne ok. 2 Gy, przy zachowaniu porównywalnego pokrycia obszaru tarczowego.

Podczas całego procesu leczenia nie obserwowano problemów związanych z utrzymaniem fiksacji gałki ocznej.

Wnioski: Przedstawione rozwiązanie umożliwiło przeprowadzenie radioterapii protonowej na stanowisku gantry z zachowaniem powtarzalnego ustawienia gałki ocznej oraz ograniczeniem dawki dostarczanej do soczewki. Zastosowanie indywidualnego kompensatora wykonanego metodą druku 3D, wyposażonego w dedykowany wysięgnik, może stanowić użyteczne narzędzie wspomagające radioterapię protonową zmian zlokalizowanych w obrębie gałki ocznej.

Radioterapia protonowa u pacjentów pediatrycznych

Kamil Kisielewicz[1]

[1] Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie, Państwowy Instytut Badawczy, Oddział w Krakowie

Wraz z rozpoczęciem funkcjonowania radioterapii protonowej w Krakowie, jednym z głównych celów była realizacja leczenia skanującą wiązką protonową u pacjentów pediatrycznych.

Obecnie dostępne, nowoczesne metody teleradioterapii stosujące wiązki fotonowe (np. VMAT – Volumetric Modulated Arc Therapy) pozwalają na dostarczenie do objętości tarczowej indywidualnie zaprojektowanego, wysoko konformalnego rozkładu dawki. Podczas leczenia pacjenta dawka zostaje także dostarczona do tkanek zdrowych, znajdujących się na drodze wiązki. Pomimo stosowania specjalnych algorytmów planowania leczenia, optymalizujących i redukujących wielkość tej dawki, nie jest możliwe jej całkowite wyeliminowanie ze względu na fizykę oddziaływania fotonów z materią. Dawka ta, tzw. integralna, nie będzie wpływała na efekt deterministyczny, ze względu na jej względnie niską wartość, ale efekt stochastyczny polegający na indukcji nowotworu wtórnego w przyszłości u już wyleczonego z pierwotnego nowotworu pacjenta. Zastosowanie radioterapii skanującą wiązką protonową (dzięki fizyce oddziaływania protonów z materią) daje możliwość redukcji dawki nieterapeutycznej – „integralnej" w tkankach otaczających objętość tarczową, co znacząco zmniejsza ryzyko indukcji nowotworów wtórnych u małych pacjentów. Ze względu na prognozowany czas życia dziecka – do późnej starości redukcja dawki integralnej ma tu istotne znaczenie.

Podczas wystąpienia zostaną przedstawione możliwości terapeutyczne dla pacjentów pediatrycznych, dla różnych lokalizacji anatomicznych, wynikające z zastosowania skanującej wiązki protonowej, w tym m.in. zastosowanie indywidualnych – drukowanych w technice 3D – kompensatorów, techniki DIBH oraz łączenia pól.

Radioterapia protonowa ultrawysoką mocą dawki (FLASH) – aspekty techniczne i dozymetryczne

Dawid Krzempek[1], *Jan Gajewski*[1], *Hubert Jabłoński*[1], *Anna Spaleniak*[1], *Wiktor Komenda*[1], *Konrad Guguła*[1], *Michał Kamiński*[1], *Michał Hankiewicz*[1], *Tomasz Pasiecznik*[1], *Krzysztof Suder*[1], *Leszek Malinowski*[1], *Tomasz Nowak*[1], *Natalia Mojżeszek*[1], *Marta Bałamut*[1], *Paweł Rogalski*[1], *Renata Kopeć*[1], *Marzena Rydygier*[1]

[1] Centrum Cyklotronowe Bronowice, Instytut Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie

W ostatnich latach obserwuje się rosnące zainteresowanie wdrożeniem radioterapii FLASH do praktyki klinicznej. Badania radiobiologiczne wykazały, że zastosowanie wiązek promieniowania o ultrawysokiej mocy dawki (> 40 Gy/s) umożliwia istotne zmniejszenie toksyczności leczenia przy zachowaniu tej samej dawki w objętości tarczowej.

Protony, obok elektronów, należą do cząstek o największym potencjale klinicznego zastosowania w radioterapii FLASH. Jednak obecne kliniczne systemy terapii protonowej wymagają istotnych modyfikacji, aby osiągnąć wymagane moce dawki.

W niniejszej prezentacji omówiono rozwiązania techniczne wdrożone w nieklinicznym trybie pracy systemu Proteus PLUS (IBA), wykorzystywanego na co dzień do radioterapii protonowej w Centrum Cyklotronowym Bronowice IFJ PAN. Przedstawiono również kluczowe aspekty dozymetryczne istotne dla charakterystyki i monitorowania wiązek protonowych FLASH.

Wprowadzone modyfikacje optyki stanowiska pozwoliły zwiększyć wydajność linii wiązki około siedmiokrotnie. Jednocześnie dostosowanie systemu dostarczania wiązki umożliwiło zachowanie funkcjonalności skanowania metodą PBS. W rezultacie uzyskano wiązkę skanującą (pole 3 × 3 cm²) o średniej mocy dawki przekraczającej 100 Gy/s oraz punktowej mocy dawki sięgającej około 1500 Gy/s.

Przeprowadzono kompleksową charakterystykę dozymetryczną wiązki, porównując parametry rozkładów poprzecznych i głębokościowych z wiązkami klinicznymi. Oceniono także przydatność detektorów stosowanych rutynowo w praktyce klinicznej do monitorowania wiązek FLASH.

Zastosowane rozwiązania umożliwiają prowadzenie w CCB IFJ PAN badań z zakresu radioterapii protonowej FLASH. Aktualnie realizowane są prace dotyczące dozymetrii, metod dostarczania wiązki, optymalizacji rozkładów dawki oraz aspektów radiobiologicznych.

Narzędzie do szybkiej analizy 4D odporności planów leczenia w terapii protonowej narządów ruchomych

Agnieszka Wochnik[1], Gabriela Foltyńska[1], Jan Gajewski[1], Wiktor Komenda[1], Dawid Krzempek[1], Katarzyna Krzempek[1], Monika Lipa[1], Tomasz Skóra[2], Antoni Ruciński[1], Renata Kopeć[1]

[1] Instytut Fizyki Jądrowej PAN Centrum Cyklotronowe Bronowice;
[2] Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Oddział w Krakowie

Cel: Terapia protonowa z modulacją intensywności wiązki (IMPT) charakteryzuje się wysoką wrażliwością na zmiany anatomiczne oraz ruch narządów. W przypadku nowotworów zlokalizowanych w obrębie klatki piersiowej ruch oddechowy może prowadzić do zmian zasięgu protonów oraz wystąpienia efektu *interplay*, wynikającego z nakładania się ruchu napromienianych struktur i dynamicznego skanowania wiązki protonowej. Zjawisko to może powodować miejscowe niedopromienienie lub nadmierne napromienienie wybranych obszarów. Celem pracy było opracowanie narzędzia umożliwiającego szybką analizę 4D odporności planu leczenia, wykorzystującą rzeczywisty przebieg napromieniania zapisany w logach systemu terapeutycznego.

Materiał i metoda: Opracowano dedykowane narzędzie integrujące szybki kod Monte Carlo FRED, wykorzystujący do obliczeń karty graficzne (GPU), rejestrację deformowalną obrazów (DIR) oraz analizę logów systemu dostarczania wiązki protonowej. Metodę zwalidowano na podstawie danych 4DCT pacjenta z chłoniakiem Hodgkina śródpiersia. Dla dziesięciu faz oddechowych przygotowano odpowiadające im subplany, uwzględniające rzeczywisty czas dostarczenia poszczególnych spotów. Analiza obejmowała niepewności geometryczne (±5 mm), niepewności zasięgu protonów (±4,5%) oraz pięć różnych punktów startowych cyklu oddechowego. Łącznie dla analizowanego przypadku wykonano 650 symulacji Monte Carlo, a po akumulacji za pomocą DIR rozkładów dawek z poszczególnych faz oddechowych na obrazie referencyjnym uzyskano 65 końcowych rozkładów dawek. Ocenę przeprowadzono z wykorzystaniem histogramów dawka–objętość (DVH), analizy gamma index 3D (3%/3 mm) oraz wokselowej analizy najgorszego przypadku (*voxel-wise worst-case analysis*).

Wyniki: Przeprowadzona analiza 4D wykazała większą zmienność rozkładów dawki niż standardowa analiza odpornościowa 3D. Zakres wartości współczynnika gamma wyniósł 55,05–88,36% dla analizy 3D oraz 48,26–92,92% dla analizy 4D. Uwzględnienie ruchu oddechowego skutkowało poszerzeniem pasm DVH zarówno dla objętości tarczowej, jak i narządów krytycznych. W analizie najgorszego przypadku zaobserwowano zmniejszenie pokrycia objętości docelowej odpowiednio o 47,4% dla izodozy 95% oraz o 20,8% dla izodozy 90% w porównaniu z analizą 3D. Zastosowanie kodu FRED umożliwiło wykonanie wszystkich obliczeń w czasie krótszym niż 7,5 godziny.

Wnioski: Opracowane narzędzie umożliwia szybką i kompleksową analizę 4D odporności planów leczenia protonowego z uwzględnieniem ruchu oddechowego, efektu *interplay* oraz niepewności geometrycznych i zasięgu. Analiza 4D dostarcza informacji niedostępnych w standardowej ocenie 3D i może wspierać rozwój procedur leczenia narządów ruchomych, kwalifikację pacjentów do technik ograniczających ruch oraz przyszłe wdrożenie adaptacyjnej terapii protonowej.

Kliniczny przypadek napromieniania pacjentki w ciąży radioterapią protonową – procedura szacowania dawki płodowej

Natalia Mojżeszek[1], Marijke De Saint-Hubert[2], Hubert Jabłoński[1], Kamil Kisielewicz[3], Wiktor Komenda[1], Paweł Rogalski[1], Marzena Rydygier[1], Tomasz Skóra[3], Anna Spaleniak[1], Dawid Krzempek[1]

[1] Centrum Cyklotronowe Bronowice, Instytut Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie;
[2] Belgian Nuclear Research Center (SCK CEN), Mol, Belgium;
[3] Narodowy Instytut Onkologii – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział w Krakowie

Cel: Wykonanie radioterapii u pacjentek ciężarnych wymaga indywidualnej oceny oraz optymalizacji narażenia płodu na promieniowanie wtórne i rozproszone. Radioterapia protonowa z modulacją intensywności wiązki (IMPT) pozwala ograniczyć dawkę poza obszarem napromienianym w porównaniu z technikami fotonowymi [1]. Ocena dawki płodowej w technice IMPT wymaga przede wszystkim oszacowania składowej neutronowej, która stanowi około 80% całkowitej dawki płodowej [2]. Celem pracy było opracowanie i zastosowanie procedury szacowania dawki płodowej pochodzącej od neutronów u pacjentki ciężarnej z nowotworem ślinianki przyusznej.

Materiały i metody: Pomiary dawek płodowych przeprowadzono dla 33-letniej pacjentki będącej w 15. tygodniu ciąży. Plan IMPT składał się z trzech pól terapeutycznych, w tym dla dwóch pól zastosowano dyskryminator zasięgu ze względu na płytko położony obszar tarczowy. Całkowita dawka terapeutyczna wy-

PHILIPS

Horizon BlueSeal* bezkompromisowy system bezhelowy 3T



Zaawansowany system MRI, uzupełniający portfolio systemów bezhelowych

Dowiedz się więcej

*BlueSeal Horizon jest platformą znajdującą się obecnie w fazie rozwoju (Work in Progress) i nie jest jeszcze dostępna w żadnej jurysdykcji. Jej przyszła dostępność nie może zostać zagwarantowana.

nosiła 60 Gy(RBE) i została zaplanowana w 30 frakcjach. Punkt pomiarowy wyznaczono konserwatywnie na poziomie dna macicy, przyjmując położenie płodu najbliższe obszarowi napromienianemu. W przyjętej konfiguracji znajdował się on w odległości 43 cm od najbliższej krawędzi PTV. Procedura szacowania dawki płodowej obejmowała weryfikację przed rozpoczęciem leczenia, pomiary *in vivo* podczas każdej frakcji RT oraz pomiary po zakończeniu terapii. Eksperymentalną weryfikację uzupełniono o symulacje Monte Carlo (TOPAS 3.9). Do pomiaru dawki równoważnej pochodzącej od neutronów wykorzystano detektory BD-PND (Bubble Technology Industries). W pomiarach przed i po terapii zastosowano antropomorficzny fantom Rando Alderson oraz płyty RW3 odwzorowujące wymiary brzucha pacjentki. W pomiarach po zakończeniu terapii uwzględniono zwiększenie wysokości brzucha oraz możliwe przesunięcie płodu w kierunku obszaru napromienianego.

Wyniki: Dawka równoważna pochodząca od neutronów, oszacowana dla całego cyklu leczenia, wynosiła 0,42 mSv w pomiarze przed rozpoczęciem terapii oraz 0,65 mSv na podstawie codziennych pomiarów *in vivo*. Względne odchylenie standardowe wyników pomiarów *in vivo* wynosiło 12%. W pomiarach wykonanych po zakończeniu leczenia uzyskano wartości od 0,46 do 0,63 mSv, zależnie od przyjętych zmian anatomii pacjentki i położenia płodu. Względną niepewność rozszerzoną dla pomiaru detektorami BD-PND oszacowano na 47% (k = 2). Wyniki pomiarowe były zgodne w granicach niepewności pomiarowej z symulacjami Monte Carlo.

Wnioski: Przyjęta procedura pozwala na kompleksową ocenę dawki płodowej, obejmującą weryfikację przed rozpoczęciem terapii, pomiary *in vivo* podczas leczenia oraz po jego zakończeniu z uwzględnieniem zmian anatomicznych pacjentki. Detektory BD-PND wykazały przydatność zarówno w pomiarach fantomowych, jak i w dozymetrii *in vivo*. We wszystkich analizowanych konfiguracjach całkowita dawka płodowa pochodząca od neutronów była mniejsza niż 1 mSv, pozostając znacznie poniżej zalecanego przez ICRP poziomu 50 mSv.

Referencje:

Blommaert J, et al. Challenges and opportunities for proton therapy during pregnancy. Acta Obstet Gynecol Scand. 2024;103(4):767–774. doi:10.1111/aogs.14645.

Mojżeszek N, et al. Validation of the Tena pregnancy phantom and fetal dose assessment in proton scanning beam therapy. Phys Med. 2026;142:105718. doi:10.1016/j.ejmp.2026.105718.

SOBOTA, SESJA: BRACHYTERAPIA

Podsumowanie dziesięcioletniej działalności Sekcji Brachyterapii Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej

Magdalena Dymnicka[1]

[1] Wielospecjalistyczny Szpital Wojewódzki w Gorzowie Wlkp.

Sekcja Brachyterapii Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej pracuje nieprzerwanie od 2015 r. Przez ten czas zorganizowanych zostało dziesięć spotkań Sekcji, które szybko zyskały uznanie w środowisku fizyków medycznych związanych z brachyterapią i z roku na rok gromadziły coraz większą liczbę uczestników. Sekcja opracowała i opublikowała również zalecenia dotyczące testów jakościowych systemów planowania leczenia w brachyterapii. W trakcie wystąpienia przedstawione zostanie podsumowanie dotychczasowej działalności Sekcji Brachyterapii PTFM oraz plany jej rozwoju na kolejne lata.

Który parametr DVH powinien definiować pokrycie GTV w jednofrakcyjnej HDR-BT wątroby? Analiza na poziomie pojedynczej zmiany

Magdalena Peszyńska-Piorun[1], *Mateusz Bilski*[2], *Przemysław Janiak*[1]

[1] Wojewódzkie Wielospecjalistyczne Centrum Onkologii i Traumatologii im. M. Kopernika w Łodzi;
[2] Affidea NU-MED Centrum Diagnostyki i Terapii Onkologicznej w Zamościu

Cel: W jednofrakcyjnej śródmiąższowej HDR-BT wątroby wybór parametru opisującego klinicznie istotne pokrycie GTV pozostaje niejednoznaczny. D90 jest powszechnie stosowany w raportowaniu, natomiast parametry dawki bliskiej minimalnej mogą lepiej odzwierciedlać ograniczone objętości niedodawkowania. Celem pracy było porównanie przydatności D100, D98, D95, D90 i Dmean oraz ocena spójności ich związku z różnymi radiologicznymi punktami końcowymi.

Materiał i metody: Przeprowadzono wieloośrodkową analizę 65 pacjentek, u których pojedynczy przerzut raka piersi do wątroby leczono jedną frakcją HDR-BT pod kontrolą TK. Ograniczenie kohorty do jednej leczonej zmiany na pacjentkę umożliwiło analizę zależności dawka–wynik bez agregowania odmiennych charakterystyk dozymetrycznych wielu ognisk. Mediana dawki przepisanej wynosiła 20 Gy, a mediana objętości GTV 18,8 cm³.

Dla GTV oceniono D100, D98, D95, D90, Dmean i V100. Analizowane punkty końcowe obejmowały 12-miesięczną odpowiedź obiektywną według RECIST 1.1, radiologiczne przeżycie wolne od progresji oraz progresję wątrobową z uwzględnieniem zdarzeń konkurujących. Wartości progowe identyfikowano eksploracyjnie metodą ROC z indeksem Youdena. Zastosowano test dokładny Fishera, analizę Kaplana–Meiera i analizę ryzyk konkurujących.

Wyniki: Średnie V100 wynosiło 94,7%. Mediany D100, D98, D95, D90 i Dmean wynosiły odpowiednio: 12,9, 17,5, 20,0, 22,6 i 51,5 Gy.

Spośród analizowanych parametrów D98 wykazywał najbardziej spójny związek z odpowiedzią radiologiczną i radiologicznym przeżyciem wolnym od progresji. W obu analizach wartość różnicująca wynosiła około 18 Gy. D90 wykazywał związek z odpowiedzią ocenianą w określonym punkcie czasowym, ale nie zachowywał porównywalnej wartości w analizie czasu do zdarzenia. D100 dostarczał uzupełniającego sygnału w analizie progresji wątrobowej, jednak uzyskana zależność miała charakter graniczny. Dmean nie wykazała konsekwentnego związku z analizowanymi punktami końcowymi.

Wnioski: Wartość informacyjna parametrów DVH zależała od definicji punktu końcowego. D98 był najbardziej konsekwentnym deskryptorem w analizach odpowiedzi i czasu do progresji, natomiast D100 i D90 opisywały uzupełniające aspekty rozkładu dawki. Wyniki przemawiają za wieloparametrycznym raportowaniem pokrycia GTV, z uwzględnieniem D98 jako parametru dawki bliskiej minimalnej. Wartość około 18 Gy należy traktować jako eksploracyjny punkt odniesienia wymagający niezależnej walidacji oraz formalnej oceny niepewności dozymetrycznych.

Analiza wpływu różnic aktywności źródeł I-125 w zakresie tolerancji producenta na rozkład dawki w brachyterapii uLDR raka gruczołu krokowego

Agata Lewandowska[1], Grzegorz Bielęda[2], Oliwia Nowotka[1], Maksymilian Kazior[3], Justyna Krupka[3], Marek Kanikowski[4], Maciej Kozak[5]

[1] MCO Affidea Poznań, Wydział Fizyki UAM Poznań;
[2] WCO Poznań, Katedra i Zakład Elektroradiologii UMP Poznań;
[3] MCO Affidea Poznań;
[4] MCO Affidea Poznań, HCP Poznań;
[5] Wydział Fizyki, UAM Poznań

Wstęp: W planowaniu brachyterapii uLDR gruczołu krokowego z wykorzystaniem ziaren I-125 system planowania leczenia wykorzystuje średnią aktywność całej partii źródeł. Aktywność pojedynczych ziaren może jednak różnić się od wartości nominalnej w granicach ±5%, zgodnie ze specyfikacją producenta. Celem pracy była ocena wpływu tej zmienności na rozkład dawki.

Materiał i metody: Analizie poddano 25 klinicznych planów leczenia wykonanych w systemie Oncentra Prostate. Plany wyeksportowano do niezależnego systemu weryfikacji RadCalc, umożliwiającego przypisanie indywidualnych aktywności poszczególnym ziarnom. Dla każdego planu przeanalizowano dwa skrajne scenariusze: pierwszy zakładał rozmieszczenie ziaren o aktywności o 5% wyższej w centralnej części gruczołu oraz ziaren o aktywności o 5% niższej na obwodzie, natomiast drugi – konfigurację odwrotną. Porównano wartości dawek w pięciu punktach kontrolnych z wynikami planu klinicznego, a analizę statystyczną przeprowadzono z wykorzystaniem testu t-Studenta dla prób zależnych.

Wyniki: Zaobserwowano statystycznie istotne różnice wartości dawek w większości analizowanych punktów, wynoszące od około 1,5% do 3%, zależnie od konfiguracji aktywności ziaren. Największe różnice występowały w obrębie stercza i cewki moczowej. W punkcie zlokalizowanym przy odbytnicy nie stwierdzono różnic istotnych statystycznie. Pomimo obserwowanych zmian wszystkie analizowane plany spełniały obowiązujące kryteria akceptacji dozymetrycznej.

Wnioski: Zmienność aktywności pojedynczych ziaren I-125 mieszcząca się w granicach tolerancji producenta może powodować niewielkie, lecz statystycznie istotne zmiany lokalnego rozkładu dawki. Nie wpływa ona jednak na spełnienie klinicznych kryteriów akceptacji planów leczenia. Uzyskane wyniki wskazują, że rzeczywisty rozkład dawki należy traktować jako przedział możliwych wartości wynikający z naturalnej zmienności aktywności implantowanych źródeł.

Analiza dozymetryczna w przebiegu leczenia pacjentów z nowotworem prostaty metodą brachyterapii uLDR

Magdalena Rozwód[1]

[1] Wielospecjalistyczny Szpital Wojewódzki w Gorzowie Wlkp.

Wstęp: Brachyterapia uLDR z wykorzystaniem I125 to nowoczesna metoda leczenia raka prostaty w niskim stopniu zaawansowania oraz wznów po przebytym leczeniu onkologicznym. W metodzie tej stosuje się źródło promieniotwórcze o bardzo niskiej mocy dawki, pozwalające na długotrwałe, stopniowe napromienianie leczonego obszaru. Pozwala to na deponowanie promieniowania w sposób ciągły przez dłuższy okres czasu. Istotnym elementem przebiegu leczenia tą metodą pozostaje właściwy dobór parametrów leczenia, obejmujących między innymi aktywność i liczbę źródeł oraz ich rozmieszczenie w obrębie leczonej objętości. W ocenie dawki końcowej ważna jest ocena wpływu migracji implantów zarówno w obrębie torebki prostaty, jak i sporadycznie w przyległych narządach i tkankach.

Cel: Celem pracy była ocena zmian parametrów histogramów związanych z mobilnością implantów stałych w przebiegu leczenia pacjentów z nowotworem prostaty metodą brachyterapii uLDR.

Metoda: Do pracy zebrano parametry histogramów 20 pacjentów leczonych w Ośrodku Radioterapii WsW w Gorzowie Wielkopolskim. Dla każdego pacjenta wykonano plan leczenia w oparciu o obrazowanie USG, w momencie implantacji, co przyjęto jako plan referencyjny. Następnie opracowano plany leczenia na podstawie obrazowań TK wykonywanych zgodnie z zaleceniami kontroli pozabiegowej – 1 dzień po zabiegu, 1 i 3 miesiące po zabiegu.

Na każdej serii obrazów wyznaczono objętość tarczową i narządy krytyczne – rectum, pęcherz i cewkę moczową w przypadkach, kiedy pacjenci byli zacewnikowani w momencie badania. Następnie wykonano rekonstrukcję rozmieszczenia implantów i przeliczono rozkłady dawek. Dla porównania zmian w rozmieszczeniu źródeł I125 przyjęto stałą aktywność równą 0,4 mCi. Analizie poddano parametry histogramów zgodne z zaleceniami GEC-ESTRO ACROP. Wyznaczono wartości średnie oraz odchylenia standardowe analizowanych parametrów oraz przedstawiono ich zmienność w czasie w formie wykresów.

Wyniki: Dla parametrów opisujących rozkład dawki w objętości tarczowej otrzymano następujące wartości. Dla D90 112,2 ± 5,4%, 86,3 ± 8,9%, 87,3 ± 12,7% i 107,2 ± 15,8%, dla V100 95,7 ±

2,5%, 75,8 ± 9,9%, 81,8 ± 7,5% i 91,5 ± 5,5%, dla V150 43,6 ± 5,5%, 25,1 ± 8,8%, 38,8 ± 10,9% i 58,5 ± 19,4%, dla V200 14,9 ± 1,6%, 8,8 ± 4,2%, 14,2 ± 6,3% i 26 ± 12,7% odpowiednio dla planu referencyjnego, planu pierwszego dnia po zabiegu, planu miesiąc po zabiegu i planu 3 miesiące po zabiegu.

Dla parametrów opisujących rozkład dawki w cewce moczowej otrzymano następujące wartości. Dla D10 120,5 ± 4,6%, 119,5 ± 23,2%, dla D30 114,2 ± 4,5%, 109,9 ± 17,8%, dla D_{MAX} 121,9 ± 4,6%, 188,1 ± 86,3% odpowiednio dla planu referencyjnego i planu pierwszego dnia po zabiegu.

Dla parametrów opisujących rozkład dawki w rectum otrzymano następujące wartości. Dla D0,1cm³ 147,5 ± 20Gy, 109,8 ± 25,6Gy, 132,3 ± 29,5Gy i 139,4 ± 13,9Gy, dla D2cm³ 65,5 ± 11,9%, 46,8 ± 12,1%, 55,9 ± 11,8% i 57,9 ± 7,7% odpowiednio dla planu referencyjnego, planu pierwszego dnia po zabiegu, planu miesiąc po zabiegu i planu 3 miesiące po zabiegu.

Dla parametrów opisujących rozkład dawki w pęcherzu moczowym otrzymano następujące wartości. Dla D1cm³ 78,2 ± 11,4Gy, 79,1 ± 21,1Gy, 75,4 ± 17,8Gy i 88,7 ± 49,3Gy i dla D2cm³ 46,7 ± 6,9%, 46,6 ± 12,2%, 46,2 ± 12,2% i 48,2 ± 17,9% odpowiednio dla planu referencyjnego, planu pierwszego dnia po zabiegu, planu miesiąc po zabiegu i planu 3 miesiące po zabiegu.

Wnioski: Przeprowadzone obliczenia pokazały dużą zmienność wszystkich analizowanych parametrów, wynikającą ze zmian w umiejscowieniu implantów w obrębie torebki prostaty. Generalnie zmienność fizjologiczna i anatomiczna tkanek wydaje się mieć decydujący wpływ na zmiany rozkładów dawek.

Dynamiczne środowisko zintegrowanego planowania adaptacyjnej termobrachyterapii z wykorzystaniem sprzężonych modeli obliczeniowych

Grzegorz Zwierzchowski[1], Grzegorz Bielęda[1]

[1] Katedra i Zakład Elektroradiologii, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, Zakład Brachyterapii, Wielkopolskie Centrum Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie w Poznaniu

Wstęp: Jednoczasowa brachyterapia HDR i śródtkankowa hipertermia stanowią sprzężony proces terapeutyczny opisany wzajemnie zależnymi zjawiskami elektromagnetycznymi, cieplnymi, biologicznymi i radiobiologicznymi. Dostępne systemy planowania rozwiązują te zagadnienia sekwencyjnie, przy założeniu statycznego modelu pacjenta oraz deterministycznych parametrów tkanek. W niniejszej pracy proponujemy nową formalizację planowania termobrachyterapii jako DMPO (Dynamic Multi-Physics Optimization), definiowaną jako dynamiczne zadanie sterowania i optymalizacji sprzężonych procesów wielofizycznych z uwzględnieniem niepewności parametrów modelu.

Koncepcja: Proces terapeutyczny opisano jako sprzężone zagadnienie odwrotne CITP (Coupled Inverse Treatment Planning). Wektor zmiennych decyzyjnych obejmuje jednocześnie parametry brachyterapii HDR (pozycje i czasy postoju źródła) oraz parametry wielokanałowego układu RF (amplituda, faza, moc i częstotliwość). Wektor stanu opisuje chwilowy rozkład pola elektromagnetycznego, temperatury oraz biologicznej odpowiedzi tkanek, natomiast wektor parametrów niepewnych obejmuje perfuzję, przewodnictwo cieplne i właściwości dielektryczne.

Model pacjenta zdefiniowano jako PSCM (Patient-Specific Computational Model) integrujący modele elektromagnetyczne, transportu ciepła, radiobiologiczne oraz geometryczne. Proces planowania sformułowano jako CMOO (Constrained Multi-Objective Optimization) z wykorzystaniem RO (Robust Optimization) oraz UQ (Uncertainty Quantification). Funkcja celu obejmuje jednoczesną maksymalizację biologicznego efektu leczenia, minimalizację niejednorodności rozkładu temperatury, ograniczenie ryzyka przegrzania narządów krytycznych oraz zachowanie ograniczeń technologicznych systemu terapeutycznego. Rozwiązania analizowane są w przestrzeni PF (Pareto Front), umożliwiając wybór kompromisu pomiędzy skutecznością i bezpieczeństwem terapii.

Kluczowym elementem proponowanego podejścia jest adaptacyjna rekonstrukcja modelu pacjenta. Dane pozyskiwane z systemów FBG (Fiber Bragg Grating) lub DFOS (Distributed Fiber Optic Sensing) wykorzystywane są do OPI (Online Parameter Identification) oraz BPE (Bayesian Parameter Estimation) parametrów biologicznych. W rezultacie model obliczeniowy jest iteracyjnie aktualizowany, zachowując zgodność z rzeczywistą odpowiedzią tkanek. Tak zdefiniowana architektura spełnia funkcjonalne założenia DT (Digital Twin).

Zaktualizowany model stanowi podstawę implementacji MPC (Model Predictive Control) wykorzystującego strategię RHO (Receding Horizon Optimization). W każdej iteracji rozwiązywane jest nowe zadanie optymalizacji uwzględniające aktualny stan pacjenta oraz zidentyfikowane parametry modelu. Otrzymane rozwiązanie wyznacza optymalne parametry obu modalności terapeutycznych, umożliwiając ciągłą adaptację procesu leczenia do zmieniających się warunków biologicznych.

Wnioski: Proponowane podejście redefiniuje planowanie jednoczasowej termobrachyterapii jako dynamiczne zagadnienie odpornej na niepewność optymalizacji wielofizycznej, w którym model pacjenta staje się aktywnym elementem procesu decyzyjnego. Integracja DMPO, CITP, RO, UQ, MPC oraz DT tworzy podstawy nowej generacji adaptacyjnych systemów planowania terapii personalizowanej.

Pilotażowy audyt dozymetryczny dla brachyterapii HDR w Polsce przeprowadzony zgodnie z metodyką IAEA

Krzysztof Chełmiński[1], Wioletta Ślusarczyk-Kacprzyk[1], Iwona Grabska[1]

[1] Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Fizyki Medycznej, Pracownia Wtórnych Wzorców Dozymetrycznych

Cel pracy: Celem pracy było przeprowadzenie pilotażowego audytu dozymetrycznego dla brachyterapii (BT) High Dose Rate według metodologii opracowanej przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (IAEA). Audyty dozymetryczne są powszechnie dostępne w teleradioterapii. W przypadku brachyterapii, która historycznie została wprowadzona jako pierwsza forma radioterapii w onkologii, audyty takie nie są tak powszechne ze względu na problemy techniczne związane z umiejscowieniem detektorów blisko źródeł promieniowania oraz wysokimi gradientami dawki w pobliżu aplikatorów klinicznych. Niski poziom automatyzacji i powolny rozwój technologiczny historycznie ugruntowanych schematów leczenia brachyterapią stwarzają fałszywe wrażenie marginalnej potrzeby rozwoju metod weryfikacji dozymetrycznej dawek dostarczanych przy jej pomocy. Dostępność komercyjnych urządzeń do testów dozymetrycznych w brachyterapii jest niska. Z tego powodu istnieje mnogość nieustandaryzowanych metod audytowania, które są stosowane lokalnie w małej liczbie ośrodków. Może to czynić brachyterapię metodą bardziej ryzykowną pod względem niewykrytych błędów dozymetrycznych.

Materiał i metody: Efektem prac badawczych IAEA (projekt nr CRP-E24023) było stworzenie dwóch fantomów wykonanych z polimetakrylanu metylu (PMMA). Jako pierwszy powstał fantom RAKR o wymiarach 16 × 8 × 3 cm³ mieszczący w sobie dwa proste katetery oraz pasek filmu dozymetrycznego pod jednym z nich oraz kapsułkę długości 20 mm i średnicy 5 mm pomiędzy nimi, w której można umieścić detektor pasywny. Fantom przewidziany został do oceny dokładności wyznaczenia pozycji postoju źródła i wartości RAKR. Jako drugi powstał fantom E2E o rozmiarach 5 × 6 × 10 cm³ zawieszony w ramie i przeznaczony do audytów End-to-End mieszczący 4 paski filmu dozymetrycznego rozmieszczone wokół sondy aplikatora typu Tandem + Ring lub Ovoid. Ponieważ żaden z fantomów nie zapewniał warunków wymaganych przez formalizm wyznaczania dawki TG-43 ze względu na brak pełnego rozproszenia wynikający z małych rozmiarów, brak równoważności wodzie materiału fantomu oraz ze względu na zaburzenia wynikające z obecności detektorów w fantomie, konieczne było wyznaczenie i zastosowanie odpowiednich współczynników korekcyjnych. Współczynniki te wyznaczono na podstawie symulacji Monte Carlo.

Audyt pilotażowy przeprowadzono w trzech ośrodkach w Polsce. Napromienione filmy Gafchromic RTQA2 i EBT4 zeskanowano przy pomocy skanera płaskiego Epson V750 i poddano analizie programem FilmQA Pro 2016. Detektory radiofotoluminescencyjne (RPL) odesłano do laboratorium dozymetrycznego IAEA w celu wyznaczenia dawki i oceny RAKR.

W PWWD w Warszawie analizie poddano przesunięcie śladu pozostawionego na dwóch filmach RTQA2 względem zaplanowanych 13 pozycji postoju źródła w fantomie RAKR oraz relacje dawki – dose ratio (DR) plan/pomiar z w sumie 33 obszarów o rozmiarze 2,5 × 2,5 mm² na osiach centralnych czterech filmów Gafchromic EBT4 napromienionych w fantomie E2E.

Wyniki: Przesunięcie śladu pozostawionego przez źródło względem pozycji zaplanowanej wyniosło na dwóch filmach odpowiednio 1,2 mm i 0,4 mm dla ośrodka nr 1, 0,0 mm i 0,0 mm dla ośrodka nr 2 oraz 1,6 mm i 0,8 mm dla ośrodka nr 3. Wartości średnie DR i odchylenia standardowe SD z 33 obszarów filmu z fantomu E2E dla ośrodków nr 1, 2 oraz 3 wyniosły odpowiednio 0,96 i 0,02; 0,96 i 0,05 oraz 0,98 i 0,03.

Wnioski: Wstępna analiza wyników potwierdza poprawność dozymetryczną BT wykonywanej w audytowanych ośrodkach zarówno pod względem precyzji geometrycznej napromieniania, jak i wartości dawki. Fantomy dozymetryczne zaprojektowane w IAEA zostaną skopiowane na podstawie udostępnionych rysunków technicznych, a metodologia audytu zaadaptowana poprzez wyznaczenie współczynników korekcji dla detektorów termoluminescencyjnych i wdrożona do zakresu audytów oferowanych przez PWWD dla ośrodków radioterapii w Polsce. Wdrożenie audytów dozymetrycznych w brachyterapii służyć będzie zapewnieniu bezpieczeństwa radiologicznego pacjentów.

SOBOTA, SESJA: BEZPIECZEŃSTWO VS WOLNOŚĆ

Droga od pomysłu do wprowadzenia wyrobu medycznego do szpitala

Agnieszka Misiarz[1]

[1] Narodowe Centrum Badań Jądrowych

Cel: Celem pracy jest przedstawienie statystyczno-formalnej oceny pracy nad projektem polskiego akceleratora do terapii śródoperacyjnej oraz analiza wpływu formalnych wymogów rozporządzenia MDR (*Medical Device Regulation*) na poszczególne etapy projektowe wyrobu medycznego.

Materiały i metody: Zakład Aparatury Jądrowej Narodowego Centrum Badań Jądrowych był producentem akceleratorów teleradioterapeutycznych. Jednak formalnie już od roku 2017 nie ma w obrocie żadnego urządzenia medycznego.

Dla projektu akceleratora AQURE została przeprowadzona analiza rygorystycznych procedur Unii Europejskiej, w tym procesu uzyskiwania oznakowania CE zgodnego z rozporządzeniem MDR oraz weryfikacja krajowych formalności niezbędnych do dopuszczenia innowacyjnego urządzenia medycznego do użytku szpitalnego.

Wyniki i wnioski: Zapisy formalne MDR wymuszają całkowitą zmianę podejścia do tworzenia wyrobów medycznych. Proces projektowy przekształcił się w model ukierunkowany na bezpieczeństwo. Projektowanie nie może skupiać się wyłącznie na funkcjonalności urządzenia. Priorytetem od samego początku projektu jest udowodnienie pełnej zgodności z rygorystycznymi normami prawnymi.

Audyty kliniczne – podsumowanie ostatnich lat

Marzena Janiszewska[1]

[1] Dolnośląskie Centrum Onkologii Pulmonologii i Hematologii we Wrocławiu

Cel: Celem pracy jest dyskusja na temat bezpieczeństwa procesów radioterapii oraz analiza zapisów prawnych potencjalnych zdarzeń niepożądanych o charakterze dozymetrycznym, w odniesieniu do opisanych zdarzeń, które miały miejsce od czasu wejścia w życie nowego rozporządzenia.

Materiał i metoda: Materiał stanowi opis zdarzeń kwalifikowanych jako niepożądane wg obwiązujących aktów normatywnych. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 grudnia 2022 r. określa przede wszystkim: 1) kategorie ekspozycji niezamierzonych i narażeń przypadkowych; 2) działania, które należy podjąć w jednostce ochrony zdrowia po wystąpieniu ekspozycji niezamierzonej. W radioterapii: 1) do zdarzeń kategorii I zalicza się: a) wykonanie radioterapii w niewłaściwym obszarze anatomicznym również w przypadku jednej frakcji, b) wykonanie radioterapii błędnie zidentyfikowanej osobie, c) zastosowanie niewłaściwego planu leczenia, d) wykonanie radioterapii, w której odstępstwo czasu pomiędzy frakcjami przekracza 7 dni, chyba że odstępstwo to zostało spowodowane przez osobę poddaną radioterapii, e) wykonanie radioterapii, której skutkiem jest wystąpienie nieoczekiwanego efektu deterministycznego; 2) do zdarzeń kategorii II zalicza się: a) wykonanie radioterapii, w której odchylenie wartości całkowitej dawki w objętości tarczowej lub narządach krytycznych od wartości planowanych przekracza 10%, b) wykonanie radioterapii, w której wartość dawki frakcyjnej jest większa niż 120% wartości zaplanowanej dawki. § 8.1. Do zdarzeń kategorii III zalicza się: 1) wykonanie badania diagnostycznego lub zabiegu w obszarze jamy brzusznej lub 2) podanie produktu radiofarmaceutycznego w celu diagnostycznym lub leczniczym, lub 3) wykonanie radioterapii – u kobiety w ciąży, jeżeli stan ciąży został ustalony już po przeprowadzeniu procedury, a wartość dawki dla zarodka lub płodu przekracza 20 mSv.

Wyniki: Wyniki stanowią przegląd i opis zdarzeń niepożądanych w obszarze radioterapii, które miały miejsce w przestrzeni 4 ostatnich lat, bez wskazywania miejsca oraz konkretnego zakładu radioterapii, szczegółowo odnosząc dane zdarzenie do powyższych zapisów rozporządzenia Ministra Zdrowia. Materiał stanowi opis 10 zdarzeń niepożądanych, zarówno w zakresie napromieniania niewłaściwego obszaru anatomicznego, podania niewłaściwej dawki oraz zastosowania niewłaściwego planu leczenia, zarówno w leczeniu wiązkami zewnętrznymi teleradioterapii, jak i brachyterapii.

Wnioski: Potrzebna jest środowiskowa dyskusja na temat interpretacji części zapisów zdarzeń kategorii pierwszej, szczególnie punktu c, odnoszącego się do zastosowania niewłaściwego planu leczenia, czy punktu e, wykonania radioterapii, skutkiem której jest wystąpienie nieoczekiwanego efektu deterministycznego. Bez wątpienia intencją wszystkich specjalistów jest przeprowadzenie jak najlepszego leczenia, a zadaniem fizyków medycznych przygotowanie najlepszego z możliwych planów rozkładu dawki. O błędach, pomyłkach należy mówić głośno, wskazywać potencjały do doskonalenia. Przewidywać możliwe zdarzenia niepożądane poprzez stworzenie szczegółowych procedur i podniesienie kultury jakości pracy, prowadzić analizę zdarzeń „zdarzenia bliskie błędom". Np. wykryty przed ekspozy-

cją plan leczenia na niewłaściwą stronę (lewą/prawą). Jak takie zdarzenia interpretować, jak wykorzystać je do ulepszenia systemu nadzoru nad jakością leczenia. Obecnie, wraz z dynamicznym przejściem w funkcjonowanie z dokumentacją elektroniczną, ważne staje się, jak prowadzić nadzór na zapisami elektronicznymi, jak odnieść je do ram formalnoprawnych oraz jak wykorzystać te narzędzia we wzmocnieniu kultury bezpieczeństwa.

Raport IAEA nr 50: praktyczny model bezpiecznego wdrażania AI w obrazowaniu medycznym i radioterapii

*Magdalena **Peszyńska-Piorun***[1]

[1] Wojewódzkie Wielospecjalistyczne Centrum Onkologii i Traumatologii im. M. Kopernika w Łodzi

Cel: Szybkie włączanie systemów sztucznej inteligencji do obrazowania medycznego i radioterapii wymaga zmiany perspektywy: od oceny pojedynczego algorytmu do zarządzania technologią medyczną działającą w określonym środowisku klinicznym. Celem jest przedstawienie raportu IAEA Human Health Series No. 50 *Clinical Implementation of Artificial Intelligence Systems in Medical Imaging and Radiotherapy. Guidelines for Medical Physicists* jako praktycznego modelu bezpiecznej implementacji AI oraz określenie wynikających z niego zadań fizyka medycznego.

Materiał i metoda: Przeanalizowano zalecenia raportu IAEA nr 50 dotyczące pełnego cyklu życia systemu AI: od identyfikacji potrzeby klinicznej, oceny i wyboru rozwiązania, przez instalację, testy akceptacyjne, commissioning i wprowadzenie do środowiska klinicznego, po QA, monitorowanie po wdrożeniu, zarządzanie incydentami, ocenę wpływu klinicznego oraz wycofanie systemu z użycia. Analizę odniesiono do radioterapii, w której AI może wpływać na obrazowanie, segmentację, automatyczne konturowanie, planowanie leczenia, adaptację, predykcję odpowiedzi, kontrolę jakości i dokumentację procesu terapeutycznego.

Wyniki: Raport IAEA nr 50 jednoznacznie wskazuje, że kliniczne wdrożenie AI nie jest równoznaczne z instalacją oprogramowania ani potwierdzeniem parametrów deklarowanych przez producenta. System AI powinien być oceniany w lokalnym kontekście, obejmującym populację pacjentów, protokoły obrazowania, jakość i reprezentatywność danych, integrację z PACS, RIS, OIS i systemem planowania leczenia, a także sposób pracy użytkowników końcowych. Kluczowe znaczenie mają: zdefiniowanie przeznaczenia klinicznego, lokalna walidacja, kryteria akceptacji, udokumentowany commissioning, analiza ryzyka, kontrola wersji oraz przygotowanie procedur awaryjnych.

W radioterapii szczególnie istotne jest rozróżnienie między metrykami technicznej poprawności algorytmu a oceną jego wpływu na decyzje kliniczne. Dla systemów automatycznego konturowania sama zgodność geometryczna nie wystarcza, jeśli nie zostanie powiązana z oceną akceptowalności klinicznej, wpływu na plan leczenia i zdolności użytkownika do wykrycia błędu. Podobnie narzędzia do planowania, adaptacji czy automatyzacji QA wymagają metryk zależnych od zadania, progów działania, jasno określonego zakresu użycia oraz zasad postępowania poza tym zakresem.

Najważniejszym przesłaniem raportu jest przejście od jednorazowej walidacji do ciągłego nadzoru. Wydajność systemu AI może ulec zmianie wskutek aktualizacji oprogramowania, modyfikacji protokołów obrazowania, zmiany populacji pacjentów, dryfu danych, zmian infrastruktury IT lub ewolucji praktyki klinicznej. Dlatego konieczne są rutynowe i doraźne testy QC, monitorowanie wyników, analiza odchyleń, re-commissioning po istotnych zmianach, dokumentowanie incydentów oraz okresowa ocena wpływu systemu na bezpieczeństwo pacjenta i jakość procesu.

Wnioski: Raport IAEA nr 50 stanowi spójną ramę dla odpowiedzialnego wdrażania AI w obrazowaniu medycznym i radioterapii. Dla fizyka medycznego oznacza rozszerzenie klasycznego QA o ocenę algorytmów, jakość danych, zarządzanie ryzykiem, kontrolę zmian, monitorowanie dryfu i nadzór nad automatyzacją. AI powinna być traktowana nie jako „czarna skrzynka" zwiększająca wydajność pracy, lecz jako element procesu klinicznego wymagający formalnej walidacji, commissioningu, dokumentacji i stałej kontroli.

Ewolucja źródeł niepewności w radioterapii. Czy zmienia się największe wyzwanie fizyki medycznej?

*Jarosław **Pleśniak***[1]

[1] Zachodniopomorskie Centrum Onkologii

Rozwój radioterapii jest najczęściej przedstawiany jako historia kolejnych przełomów technologicznych – od udoskonalenia akceleratorów i systemów planowania leczenia, przez obrazowanie i radioterapię sterowaną obrazem, aż po współczesne rozwiązania oparte na sztucznej inteligencji. W niniejszym wystąpieniu zaproponowano odmienne spojrzenie, w którym rozwój radioterapii analizowany jest przez pryzmat ewolucji dominujących źródeł niepewności wpływających na proces leczenia.

Przedstawiono koncepcyjny model opisujący przejście od niepewności fizycznych, związanych z wyznaczaniem i dostarczaniem dawki, poprzez niepewności geometryczne i procesowe, aż do współczesnych wyzwań wynikających z biologicznej

zmienności nowotworów oraz ograniczonej możliwości przewidywania odpowiedzi na leczenie. Omówiono wpływ najważniejszych osiągnięć technologicznych na redukcję poszczególnych klas niepewności oraz wskazano, że każdy postęp technologiczny jednocześnie ujawnia nowe obszary wymagające dalszych badań i rozwoju.

Szczególną uwagę poświęcono zmieniającej się roli fizyka medycznego, dla którego tradycyjne zadania związane z zapewnieniem dokładności fizycznej są coraz częściej uzupełniane kompetencjami w zakresie zarządzania ryzykiem procesu, analizy danych oraz oceny wiarygodności modeli predykcyjnych. W tym kontekście omówiono miejsce sztucznej inteligencji, radiomiki, adaptacyjnej radioterapii oraz koncepcji Digital Twins jako narzędzi wspierających personalizację leczenia, a nie jako celu samego w sobie.

Przedstawiona analiza prowadzi do wniosku, że największe wyzwanie współczesnej fizyki medycznej stopniowo przesuwa się z zapewnienia precyzyjnego dostarczenia dawki w kierunku ograniczania niepewności biologicznej i poprawy przewidywania indywidualnej odpowiedzi pacjenta na leczenie. Taka perspektywa pozwala spojrzeć na rozwój radioterapii nie jako na ciąg zmian technologicznych, lecz jako na ewolucję dominujących źródeł niepewności determinujących skuteczność terapii.

Od 1 mm do 15% – jak gradient dawki redefiniuje dokładność w radioterapii

Maciej Raczkowski[1], *Marzena Janiszewska*[1]

[1] Dolnośląskie Centrum Onkologii, Pulmonologii i Hematologii

Wstęp: Ocena zgodności dozymetrycznej w nowoczesnej radioterapii wymaga analizy wykraczającej poza proste porównanie dawki zmierzonej z obliczoną. W technikach wykorzystujących wysokie dawki frakcyjne, małe marginesy geometryczne i strome gradienty dawki nawet niewielkie przesunięcia przestrzenne mogą prowadzić do istotnych różnic procentowych. Zjawisko to ma szczególne znaczenie w radioterapii adaptacyjnej, ale dotyczy również innych obszarów dozymetrii klinicznej, w tym systemów MR-linac, brachyterapii HDR, protonoterapii, dozymetrii małych pól, dozymetrii CT/CBCT oraz fluoroskopii interwencyjnej.

Cel: Celem pracy była ocena wpływu geometrii pomiaru na interpretację zgodności dozymetrycznej w kontroli jakości radioterapii adaptacyjnej online, ze szczególnym uwzględnieniem znaczenia budżetu niepewności w analizie wyników pomiarowych. Celem dodatkowym było odniesienie uzyskanych obserwacji do analogicznych ograniczeń pomiarowych występujących w innych modalnościach terapeutycznych i diagnostycznych. Wspólnym mianownikiem tych zagadnień jest zależność wyniku pomiaru od relacji źródło–wiązka–detektor–fantom lub pacjent.

Materiał i metody: Pochodną opracowanej procedury end-to-end była konieczność wsparcia interpretacji wyników budżetem niepewności. Sama procedura nie stanowiła głównego przedmiotu pracy, lecz punkt wyjścia do oceny wpływu warunków pomiaru na zgodność dawki zmierzonej i obliczonej. Pomiary wykonano w trzech klinicznie istotnych lokalizacjach: CTV–prostata, odbytnica oraz pęcherz moczowy. Wyniki odniesiono do budżetu niepewności obejmującego składowe metrologiczne, geometryczne i kliniczne. Szczególną uwagę zwrócono na lokalny gradient dawki, pozycjonowanie detektora, efekt uśredniania objętościowego oraz różnice między dawką punktową a dawką uśrednioną w objętości pomiarowej. Takie podejście umożliwiło ocenę, czy obserwowane odchylenia należy interpretować jako rzeczywiste niezgodności dozymetryczne, czy jako efekt ograniczeń wynikających z geometrii pomiaru i przyjętego budżetu niepewności.

Wyniki: W obszarze zmiany tarczowej, położonej w plateau wysokiej dawki, uzyskano bardzo dobrą zgodność pomiarów z obliczeniami; różnice zwykle nie przekraczały

1%. Większe odchylenia obserwowano w narządach krytycznych, szczególnie w punktach położonych w obszarach stromych gradientów dawki lub niskiej dawki bezwzględnej. Łączna niepewność standardowa wyniosła około 2,69%, a niepewność rozszerzona dla k = 2 około 5,4%. Dominującą składową budżetu niepewności była geometria pomiaru obejmująca pozycjonowanie komory, efekt uśredniania objętościowego oraz niejednoznaczność porównania dawki punktowej z dawką średnią w objętości detektora. Uniwersalny charakter tego zjawiska potwierdzają również przykłady z innych obszarów dozymetrii klinicznej: w radioterapii prowadzonej z obrazowaniem rezonansu magnetycznego istotna jest orientacja detektora.

SOBOTA, SESJA: OCHRONA RADIOLOGICZNA

Porównanie odpowiedzi dozymetrycznej szkieł ekranów smartfonów oraz detektorów MCP-N i MTS-N z wykorzystaniem procedur radioterapeutycznych

Aleksandra Jung[1], Karolina Banasiewicz[2], Julia Dyk[2], Maja Karczmarczyk[2], Damian Kabat[3]

[1] Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Kraków;
[2] Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Kraków;
[3] Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział w Krakowie

Dozymetria retrospektywna wymaga stosowania materiałów powszechnie występujących oraz opracowania wiarygodnych procedur pomiarowych umożliwiających ocenę dawek promieniowania w sytuacjach awaryjnych. Ze względu na wysoką dokładność wyznaczania dawek oraz możliwość wykorzystania zaawansowanych fantomów antropomorficznych, procedury stosowane w radioterapii stanowią dogodne środowisko do weryfikacji potencjału dozymetrycznego alternatywnych materiałów, takich jak szkła ekranów telefonów komórkowych. Celem pracy było porównanie właściwości dozymetrycznych szkieł ekranów wybranych producentów smartfonów z odpowiedzią rutynowo stosowanych detektorów termoluminescencyjnych MCP-N i MTS-N.

Badaniom poddano 60 próbek szkieł pochodzących ze smartfonów Samsung, 60 próbek szkieł telefonów iPhone oraz 25 detektorów MCP-N i 75 detektorów MTS-N pochodzących z dwóch różnych partii produkcyjnych. Próbki napromieniano w warunkach laboratoryjnych z wykorzystaniem źródła Sr-90/Y-90 oraz klinicznej wiązki fotonowej (6 MV) i elektronowej (12 MeV) generowanych przez akcelerator liniowy. Ekspozycje wykonano z zastosowaniem fantomów dozymetrycznych (I'mRT Phantom, fantom Aldersona). Odczyty termoluminescencyjne realizowano przy użyciu czytnika *lexsygresearch* z wykorzystaniem liniowego grzania do temperatury 400°C z szybkością 2°C/s, filtracji optycznej BSL/TL 365 nm, normalizacji względem masy oraz korekcji tła. Dla badanych próbek wyznaczono indywidualne współczynniki czułości (IRF) oraz oceniono podstawowe właściwości dozymetryczne, obejmujące liniowość odpowiedzi, powtarzalność pomiarów i stabilność sygnału w czasie.

Uzyskane wyniki wykazały, że wyselekcjonowane szkła ekranów smartfonów charakteryzują się stabilną i powtarzalną odpowiedzią termoluminescencyjną. Średnia czułość szkieł telefonów Samsung była wyższa niż szkieł telefonów iPhone, pozostając jednocześnie niższa niż czułość detektorów MCP-N i MTS-N. Wszystkie badane materiały wykazywały liniową zależność sygnału od dawki w analizowanym zakresie dawek, przy jednoczesnym zróżnicowaniu tempa zaniku sygnału w czasie, który był największy dla szkieł telefonów iPhone. Obecnie prowadzone są analizy wyników uzyskanych dla prostych planów leczenia przygotowanych na potrzeby weryfikacji odpowiedzi detektorów i szkieł w warunkach zbliżonych do klinicznych.

Dotychczasowe rezultaty potwierdzają potencjał szkieł ekranów smartfonów jako materiału przydatnego w dozymetrii retrospektywnej. Jednocześnie wskazują na konieczność dalszego doskonalenia procedur pomiarowych i analiz porównawczych, które pozwolą na pełną ocenę możliwości wykorzystania tego typu materiałów w praktyce dozymetrycznej.

Projekt RetroGlass: opracowanie bazy danych na potrzeby dozymetrii retrospektywnej w oparciu o charakterystykę właściwości fizycznych szkieł ekranów smartfonów

Aleksandra Jung[1], Kinga Klimecka[1], Natalia Piwowarska[1], Maja Karczmarczyk[1], Magdalena Szczerbowska-Boruchowska[1], Bartłomiej Ciesielski[2], Agnieszka Marciniak[2], Małgorzata Juniewicz[2], Michael Discher[3]

[1] Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Kraków;
[2] Medical University of Gdańsk, Department of Physics and Biophysics, Gdańsk;
[3] Paris Lodron University Salzburg, Department of Environment and Biodiversity, Salzburg, Austria

Dozymetria retrospektywna wymaga materiałów powszechnie dostępnych, wykazujących wiarygodną odpowiedź na promieniowanie jonizujące w sytuacjach, gdy brak jest indywidualnych dozymetrów. Dotychczasowe badania wskazują na duży potencjał szkieł stosowanych w ekranach telefonów komórkowych jako materiału do retrospektywnej oceny dawki promieniowania. Wciąż jednak niezbędne jest przeprowadzenie systematycznych badań obejmujących szeroką gamę współczesnych modeli telefonów oraz stworzenie kompleksowej bazy danych zawierającej charakterystyki szkieł uzyskane metodami termoluminescencji (TL), elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR) oraz analizy składu pierwiastkowego. Realizowany wspólnie przez zespoły z Polski i Austrii projekt RetroGlass ma na celu zgromadzenie takich danych, niezbędnych do opracowania szybkich oraz wiarygodnych procedur szacowania dawki,

przeznaczonych do zastosowania w sytuacjach zdarzeń radiacyjnych obejmujących dużą liczbę osób.

W ramach projektu przebadano kilkadziesiąt ekranów pochodzących z różnych modeli telefonów (m.in. iPhone, Samsung i Huawei). Próbki napromieniano w zakresie dawek 0,5–6 Gy (TL – cząstki beta, źródło Sr-90, EPR – wiązka fotonów X 6 MV, akcelerator medyczny). Pomiary TL wykonywano przy zastosowaniu czytnika *lexygresearch*, liniowego grzania do temperatury 400°C z szybkością 2°C/s. Rejestrację sygnału prowadzono z wykorzystaniem filtracji optycznej (BSL/TL 365 nm), normalizacji względem masy próbki oraz korekcji tła. Pomiary EPR wykonano z wykorzystaniem spektrometru Bruker EMX-6/1. W badaniach oceniano powtarzalność odpowiedzi szkieł dla dawki 2 Gy (TL) oraz 1, 3 i 6 Gy (EPR), liniowość odpowiedzi na dawkę oraz zanik sygnałów TL i EPR w czasie.

Wyniki badań TL wskazują na duże podobieństwo kształtu krzywych TL oraz zbliżoną czułość dla szkieł pochodzących z tych samych modeli telefonów. Równolegle prowadzone badania metodą EPR pozwoliły dotychczas zidentyfikować pięć charakterystycznych typów widm obserwowanych w analizowanych próbkach. Dodatkowo realizowane są badania składu pierwiastkowego, których celem jest określenie zależności pomiędzy właściwościami dozymetrycznymi a budową materiałową szkła. Pozwoli to sprawdzić jednorodność składu pierwiastkowego w poszczególnych grupach i ocenić, czy próbki wykazujące odstające wyniki charakteryzują się odmienną zawartością domieszek.

Uzyskane dotychczas rezultaty potwierdzają, że szkła ekranów smartfonów mogą stanowić szybkie i powtarzalne narzędzie do oceny dawek promieniowania na potrzeby triażu poszkodowanych podczas zdarzeń radiacyjnych. Opracowywana w projekcie RetroGlass baza danych umożliwi klasyfikację typów szkieł oraz stworzenie standaryzowanych, szybkich protokołów pomiarowych, które mogą znaleźć zastosowanie w przyszłych działaniach związanych z ochroną radiologiczną i reagowaniem kryzysowym.

Współpraca naukowa współfinansowana przez Narodową Agencję Wymiany Akademickiej (NAWA) w ramach projektu nr BPN/BAT/2025/1/00005 oraz przez grant Scientific & Technological Cooperation (S&T Cooperation), finansowany ze środków Federalnego Ministerstwa ds. Kobiet, Nauki i Badań Naukowych Austrii (BMFWF) (ID projektu: PL 13/2026).

Analiza komponentów kinetycznych OSL kamieni szlachetnych stosowanych w biżuterii w kontekście stabilności sygnału i zastosowań w dozymetrii retrospektywnej

***Dagmara Kulig*[1], *Aleksandra Jung*[1]**

[1] Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Kraków

Dozymetria retrospektywna wykorzystuje materiały powszechnie obecne w otoczeniu człowieka do oszacowania dawki promieniowania po zdarzeniu radiacyjnym. W ostatnich latach intensywnie badano pod tym kątem m.in. telefony komórkowe i ich komponenty, elementy odzieży i obuwia, leki oraz banknoty (Discher i Kim, 2026; Łepkowska i Jung, 2024; Mrozik i wsp., 2017; Sholom i McKeever, 2014; Bassinet i wsp., 2010). Pomimo znacznego postępu w tym obszarze nadal poszukiwane są nowe materiały, które mogłyby rozszerzyć zakres dostępnych dozymetrów awaryjnych. Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że kamienie stosowane w biżuterii mogą stanowić interesującą i dotychczas słabo rozpoznaną grupę materiałów o potencjalnym zastosowaniu w dozymetrii retrospektywnej.

Celem pracy była analiza kinetyki zaniku sygnału OSL wybranych kamieni szlachetnych stosowanych w biżuterii o zróżnicowanej stabilności sygnału w czasie (ang. *fading*) oraz ocena, czy parametry uzyskane z dekonwolucji krzywych OSL mogą dostarczyć informacji o mechanizmach odpowiedzialnych za stabilność sygnału.

Do badań wybrano cztery rodzaje kamieni reprezentujące materiały o szybszym i wolniejszym zaniku sygnału w czasie. Próbki sproszkowano i napromieniono promieniowaniem β ze źródła $^{90}Sr/^{90}Y$. Pomiary CW-OSL wykonano przy użyciu czytnika *lexsygresearch*. Krzywe zaniku OSL poddano dekonwolucji z wykorzystaniem modelu dwóch składowych kinetyki pierwszego rzędu [Zhou i wsp., 2010]. Analizę przeprowadzono w programie OriginPro, wyznaczając amplitudy oraz stałe zaniku poszczególnych komponentów.

Analiza krzywych zaniku OSL wykazała, że dla wszystkich badanych materiałów możliwe było uzyskanie bardzo dobrego dopasowania do modelu dwóch składowych kinetyki pierwszego rzędu (R^2 = 0,99–1,00). We wszystkich przypadkach zidentyfikowano komponent szybki oraz wolny. Stałe zaniku komponentu szybkiego (t_1) mieściły się w zakresie od 1,45 do 2,45 s, natomiast komponentu wolnego (t_2) od 9,39 do 17,29 s. Jasny i ciemny fluoryt oraz labradoryt charakteryzowały się zbliżonym przebiegiem zaniku sygnału OSL oraz porównywalnymi wartościami parametrów kinetycznych, wskazującymi na podobny mechanizm pułapkowania i uwalniania nośników ładunku. Odmienny przebieg zaniku zaobserwowano dla kamienia słonecznego, dla którego wyznaczono najwyższe wartości obu stałych zaniku (t_1 = 2,45 s, t_2 = 17,29 s), świadczące o większym udziale komponentu wolnego i wolniejszym zaniku sygnału OSL. Zaobserwowano różnice w wartościach stałych zaniku oraz udziale względnym poszczególnych komponentów pomiędzy badanymi materiałami. Materiały charakteryzujące się lepszą stabilnością sygnału wykazywały odmienną strukturę komponentów kinetycznych niż próbki o większym fadingu, co wskazuje na możliwy związek pomiędzy parametrami kinetycznymi a zachowaniem sygnału OSL w czasie.

Dekonwolucja krzywych zaniku OSL pozwala na ilościową charakterystykę procesów zachodzących w badanych materiałach i stanowi użyteczne narzędzie wspomagające ocenę ich przydatności do zastosowań w dozymetrii retrospektywnej. Analiza parametrów kinetycznych może dostarczyć informacji o mechanizmach odpowiedzialnych za stabilność sygnału luminescencyjnego oraz wspierać identyfikację materiałów o korzystnych właściwościach dozymetrycznych.

Narażenie wewnętrzne na promieniowanie jonizujące – monitoring biologiczny i ocena dawek

Jakub Ośko[1]

[1] Narodowe Centrum Badań Jądrowych

Narażenie wewnętrzne na promieniowanie jonizujące występuje między innymi podczas rutynowej pracy z otwartymi źródłami promieniotwórczymi oraz w trakcie usuwania skutków zdarzeń radiacyjnych, związanych z uwolnieniem substancji promieniotwórczych do środowiska. W takich sytuacjach w środowisku pracy mogą występować skażenia promieniotwórcze, stwarzające ryzyko przedostania się substancji promieniotwórczych do organizmu człowieka, najczęściej drogą oddechową lub pokarmową.

Ryzyko narażenia na skażenia wewnętrzne występuje podczas rutynowej działalności prowadzonej m.in. w pracowniach izotopowych klasy I, II i III, obiektach jądrowych, zakładach medycyny nuklearnej oraz w przemyśle metalurgicznym. W tym ostatnim przypadku narażenie może być związane z naturalnie występującymi materiałami promieniotwórczymi (NORM, Naturally Occurring Radioactive Material).

Praca w warunkach zagrożenia skażeniami wewnętrznymi wymaga stosowania odpowiednich środków ochrony radiologicznej. Obejmują one stosowanie odzieży ochronnej (rękawic, fartuchów, kombinezonów itp.), środków ochrony układu oddechowego, bezwzględny zakaz spożywania posiłków i napojów w strefach potencjalnych skażeń oraz zapewnienie odpowiednio zaprojektowanego i sprawnie działającego systemu wentylacyjnego.

Monitoring narażenia wewnętrznego prowadzi się z wykorzystaniem monitoringu indywidualnego oraz monitoringu środowiska pracy. Monitoring indywidualny obejmuje metody in vivo, polegające na bezpośrednim pomiarze aktywności promieniotwórczej emitowanej z organizmu człowieka, oraz metody in vitro, polegające na oznaczaniu aktywności promieniotwórczej w próbkach biologicznych (np. moczu lub kału) pobranych od osoby narażonej. Monitoring środowiska pracy obejmuje natomiast pomiary aktywności promieniotwórczej w próbkach powietrza oraz operacyjne pomiary skażeń promieniotwórczych powierzchni i wyposażenia.

Wyniki monitoringu indywidualnego i środowiskowego stanowią podstawę do oceny narażenia człowieka na promieniowanie jonizujące. W tym celu wykorzystuje się odpowiednie modele biokinetyczne opisujące metabolizm radionuklidów w organizmie człowieka oraz metody obliczeniowe umożliwiające wyznaczenie dawki wewnętrznej.

Narażenie społeczeństwa na promieniowanie jonizujące X po 131 latach od odkrycia W.K. Roentgena

Maciej Budzanowski[1]

[1] Instytut Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie

8 listopada 1895 r. Wilhelm Konrad Röntgen podczas prac w swoim laboratorium na Uniwersytecie w Würzburgu odkrył promieniowanie X, nazwane później rentgenowskim. Röntgen, trzymając ekran fluorescencyjny pokryty platynocyjankiem baru i wykonując eksperymenty z przesłanianiem różnymi elementami, zobaczył własną kość ręki. Przez miesiąc wykonywał szereg eksperymentów potwierdzających własności promieniowania X i 28 grudnia 1895 r. przygotował krótki artykuł pt. *Über eine neue Art von Strahlen (Vorlaufige Mitteilung)* (tł. „O nowym rodzaju promieniowania – komunikat wstępny"), który ukazał się drukiem już po siedmiu dniach w styczniu 1896 r. Za to odkrycie W.R. Röntgen otrzymał pierwszą Nagrodę Nobla w 1901 r. Tym samym po raz pierwszy uzyskaliśmy promieniowanie jonizujące sztuczne, które przechodzi przez zarówno ciało ludzkie, jak i różne przedmioty. Rozpoczęła się era radiologii. Prześwietlano wszystko do różnych celów, człowieka do badania anatomii i chorób, stopy do dopasowania butów i wiele innych. Jednocześnie osoby, pacjenci i lekarze otrzymywali relatywnie duże dawki, ponieważ promieniowanie pierwszych aparatów rentgenowskich nie było filtrowane i nie stosowano osłon. Przykładem jest dawka po prześwietleniu ręki (studium przypadku), wynosząca 74 mGy, i czas 90 min pierwszymi komercyjnymi aparatami i dla porównania zdjęcie wykonane nowoczesną radiografią cyfrową, gdzie zmierzona dawka wyniosła 0,05 mGy i czas 21 ms. Można oszacować, że dawki otrzymywane przez pacjentów i lekarzy były ok. 1500 razy większe w tamtych czasach. Obecnie nowoczesne aparaty redukują dawki do minimalnych poziomów.

Podsumowując, 131 lat temu statystycznie otrzymywaliśmy 2,55 mSv/rok od promieniowania naturalnego, a obecnie dodatkowo 2,31 mSv/rok od promieniowania sztucznego, głównie X z diagnostyki rentgenowskiej.

E-POSTERY: PROMIENIOWANIE NIEJONIZUJĄCE

Ilościowa segmentacja sygnału fluorescencyjnego ROS w obrazach mikroskopowych komórek macicy eksponowanych na mikroplastiki

Zofia Bryłowska[1], Joanna Chwiej[1], Magdalena Wytrwał[2], Julia Kowalczyk[1], Natalia Janik-Olchawa[3]

[1] Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Akademia Górniczo-Hutnicza, ul. Władysława Reymonta 19, 30-059 Kraków;
[2] Akademickie Centrum Materiałów i Nanotechnologii (ACMiN), Zakład Nanoinżynierii Powierzchni i Biomateriałów, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, ul. Kawiory 30, 30-001 Kraków;
[3] Uniwersytet Jagielloński, Wydział Biologii, Instytut Zoologii i Badań Biomedycznych, ul. Gronostajowa 9, 30-387 Kraków, Polska

Niniejsze wystąpienie będzie realizowane w ramach projektu „Wpływ mikro- i nanocząstek plastiku na homeostazę oksydacyjną, strukturę cytoszkieletu i profil ekspresji genów w komórkach układu rozrodczego", który został zrealizowany dzięki wsparciu programu IDUB, Inicjatywa Doskonałości Uczelnia Badawcza, w ramach działania D12 „Integracja procesu kształcenia z badaniami naukowymi". Finansowanie na realizację projektu uzyskano w konkursie „Wsparcie Kół Naukowych", edycja VI na rok akademicki 2025/2026.

Mikroplastiki stanowią jedno z najpowszechniej występujących zanieczyszczeń środowiska, a określenie ich potencjalnego wpływu na funkcjonowanie komórek układu rozrodczego stanowi istotne wyzwanie dla współczesnej nauki w kontekście zdrowia reprodukcyjnego. Jednym z mechanizmów odpowiedzi komórkowej na ekspozycję na mikroplastiki jest nasilenie stresu oksydacyjnego, którego poziom może być oceniany za pomocą barwień fluorescencyjnych wykrywających reaktywne formy tlenu (ROS).[1]

W niniejszej pracy przedstawiono autorską aplikację opracowaną w środowisku MATLAB, przeznaczoną do półautomatycznej analizy obrazów mikroskopowych uzyskanych podczas badań komórek macicy eksponowanych na różne stężenia mikroplastików przy różnych czasach ekspozycji. Celem opracowanego narzędzia było zwiększenie obiektywności, powtarzalności oraz szybkości analizy sygnału fluorescencyjnego (tj. umożliwienie jego ilościowej oceny) w porównaniu z dotychczasową oceną wykonywaną jakościowo.[2]

Działanie aplikacji opiera się na segmentacji obrazu w przestrzeni RGB z wykorzystaniem regulowanych zakresów wartości kanałów barwnych.[3] Ze względu na charakter zastosowanego barwienia analiza prowadzona była przede wszystkim w kanale czerwonym, odpowiadającym intensywności sygnału ROS. Użytkownik może definiować progi segmentacji, usuwać tło obrazu, zapisywać i ponownie wykorzystywać przygotowane maski oraz wykonywać analizę pojedynczych obrazów lub całych serii eksperymentalnych.

Po wyodrębnieniu obszarów odpowiadających komórkom aplikacja identyfikuje poszczególne obiekty i wyznacza ich parametry intensywności. W celu ilościowej oceny sygnału wykorzystano średnią ważoną intensywności fluorescencji, w której waga każdej komórki zależy od liczby pikseli tworzących segmentowany obiekt. Dzięki temu uzyskana wartość odzwierciedla całkowity poziom sygnału w analizowanym obrazie, przy jednoczesnym ograniczeniu wpływu niewielkich artefaktów segmentacji.

Opracowane narzędzie umożliwia automatyczny eksport wyników do arkuszy programu MS Excel, co ułatwia dalszą analizę statystyczną oraz porównywanie grup eksperymentalnych. Zaproponowane rozwiązanie stanowi uniwersalne narzędzie wspomagające ilościową analizę obrazów fluorescencyjnych i może znaleźć zastosowanie w badaniach nad wpływem mikroplastików na komórki układu rozrodczego oraz w innych eksperymentach wykorzystujących analizę sygnałów fluorescencyjnych.

Bibliografia:

[1] Kovacs K., Bodis J., Vass R.A., *Microplastics, Endocrine Disruptors, and Oxidative Stress: Mechanisms and Health Implications*, International Journal of Molecular Sciences, 2025, vol. 27, no. 1, art. 399;
[2] Ljosa V., Carpenter A.E., *Introduction to the Quantitative Analysis of Two-Dimensional Fluorescence Microscopy Images for Cell-Based Screening*, PLoS Computational Biology, 2009, vol. 5, no. 12, e1000603;
[3] Courtney J., Woods E., Scholz D., Hall W.W., Gautier V.W., *MATtrack: A MATLAB-Based Quantitative Image Analysis Platform for Investigating Real-Time Photo-Converted Fluorescent Signals in Live Cells*, PLOS ONE, 2015, vol. 10, no. 10, e0140209.

Zastosowanie termografii dynamicznej w diagnostyce skrzywień kręgosłupa u dzieci i młodzieży

Aleksandra Mrowiec[1], Agnieszka Szurko[1], Agnieszka Kiełboń[1], Teresa Kasprzyk-Kucewicz[1], Agata Stanek[2], Nejc Šarabon[3], Anna Brzęk[4], Armand Cholewka[1]

[1] Uniwersytet Śląski w Katowicach, Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych, ul. 75 Pułku Piechoty 1A, 41-500 Chorzów;
[2] Katedra Chorób Wewnętrznych, Chorób Metabolicznych i Angiologii, Wydział Nauk o Zdrowiu w Katowicach, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, ul. Ziołowa 45–47, 40-635 Katowice, Polska. Górnośląskie Centrum Medyczne Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach;
[3] Faculty of Health Sciences, University of Primorska, 6000 Izola, Slovenia;
[4] Zakład Fizjoterapii, Wydział Nauk o Zdrowiu, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, ul. Poniatowskiego 15, 40-055 Katowice, Polska

Cel: Wczesne wykrywanie deformacji kręgosłupa u dzieci i młodzieży pozostaje istotnym wyzwaniem diagnostycznym. Badanie rentgenowskie stanowi podstawową metodę oceny skrzywień kręgosłupa, jednak ze względu na ekspozycję na promieniowanie jonizujące jego zastosowanie w badaniach przesiewowych i częstym monitorowaniu pacjentów jest ograniczone. Celem pracy była ocena możliwości wykorzystania termografii w podczerwieni, w tym termografii dynamicznej z zastosowaniem kontrolowanego chłodzenia, jako nieinwazyjnej metody wspomagającej wykrywanie bocznych skrzywień kręgosłupa u dzieci i młodzieży.

Materiał i metoda: Badaniem objęto dzieci i młodzież w okresie dojrzewania. Rejestrowano termogramy powierzchni grzbietu przed oraz po krótkotrwałym, kontrolowanym chłodzeniu z wykorzystaniem nawiewu powietrza o temperaturze –10°C. Analizowano rozkład temperatury skóry w obszarach przykręgosłupowych, ze szczególnym uwzględnieniem różnic w temperaturze między prawą a lewą stroną ciała. Oceniono zależność pomiędzy stopniem skrzywienia kręgosłupa a wielkością asymetrii termicznej oraz wpływ zastosowanego bodźca chłodzącego na widoczność gradientów temperatury wzdłuż kręgosłupa.

Wyniki: Zaobserwowano zależność pomiędzy stopniem skrzywienia kręgosłupa a wielkością asymetrii temperatury w obszarach przykręgosłupowych. Większym skrzywieniom towarzyszyły wyraźniejsze różnice w rozkładzie temperatury po obu stronach kręgosłupa. Zastosowanie kontrolowanego chłodzenia zwiększyło kontrast termiczny i poprawiło widoczność lokalnych gradientów temperatury, umożliwiając dokładniejszą identyfikację obszarów asymetrii niż w przypadku obrazowania statycznego.

Wnioski: Termografia dynamiczna może stanowić bezpieczne, szybkie i nieinwazyjne narzędzie wspomagające badania przesiewowe w kierunku bocznych skrzywień kręgosłupa u dzieci i młodzieży. Zastosowanie kontrolowanego chłodzenia zwiększa widoczność.

Wpływ nasyconych i nienasyconych kwasów tłuszczowych na właściwości wiążące albuminy surowicy ludzkiej w modelu invitro hiperglikemii – studia spektroskopowe

Agnieszka Szkudlarek[1]

[1] Katedra i Zakład Farmacji Fizycznej, Wydział Nauk Farmaceutycznych w Sosnowcu, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

Cel pracy: Albumina surowicy ludzkiej (HSA), poprzez odwracalne wiązanie wielu substancji leczniczych, wpływa na ich dystrybucję, biodostępność oraz udział frakcji wolnej, warunkującej efekt farmakologiczny. Glikacja HSA, nasilona w warunkach przewlekłej hiperglikemii, oraz zmiany stopnia wysycenia HSA kwasami tłuszczowymi (KT) mogą prowadzić do modyfikacji jej konformacji i dostępności miejsc wiążących. Celem pracy była ocena wpływu fizjologicznej mieszaniny KT oraz ośmiokrotnie zwiększonej zawartości nasyconych i nienasyconych KT na oddziaływanie ketoprofenu (KP), należącego do grupy niesteroidowych leków przeciwzapalnych (NLPZ), z glikowaną albuminą surowicy ludzkiej.

Materiał i metoda: Albuminę glikowaną – odtłuszczoną ($gHSA_{af}$), zawierającą fizjologiczną mieszaninę KT ($gHSA_{fizjo}$) oraz ośmiokrotnie zwiększone stężenie nasyconych ($gHSA_{8NS}$) i nienasyconych KT ($gHSA_{8NNS}$) w porównaniu z mieszaniną fizjologiczną, przygotowano zgodnie z wcześniej opisanym protokołem [1]. Widma fluorescencyjne albuminy, bez i w obecności wzrastającego stężenia KP, rejestrowano przy λ_{ex} 275 nm i λ_{ex} 295 nm z użyciem spektrofluorymetru JASCO FP-6500. Widma elektronowe, zarejestrowane spektrofotometrem JASCO V-530, wykorzystano do korekcji efektu wewnętrznego filtra. Na podstawie uzyskanych danych wyznaczono parametry oddziaływania KP z albuminą: stałe Sterna–Volmera (K_{SV}), stałe asocjacji (K_a), liczbę cząsteczek KP wiążącą się z jedną cząsteczką albuminy (n) oraz współczynniki interakcji Hilla (n_H).

Wyniki: Słabsze wygaszanie fluorescencji $gHSA_{fizjo}$, $gHSA_{8NS}$, $gHSA_{8NNS}$ przez KP w porównaniu z $gHSA_{af}$ wskazuje na mniej efektywny transfer energii pomiędzy KP a fluoroforami albuminy zawierającej KT, tj. resztami tyrozylowymi (Tyrs) ulokowanymi w subdomenie IB, IIA, IIB i IIIA oraz resztą tryptofanylową (Trp–214) położoną w subdomenie IIA; ii) w porównaniu do kompleksu KP–$gHSA_{af}$ ($K_{a(275nm)}$ = (3.17 ± 0.01) × 10^4 (mol×L^{-1}), $K_{a(295nm)}$ = (2.43 ± 0.03) × 10^4 (mol×L^{-1})), kompleks KP–$gHSA_{fizjo}$ ($K_{a(275nm)}$ = (1.41 ± 0.02) × 10^4 (mol × L^{-1}), $K_{a(295nm)}$ = (0.46 ± 0.01) × 10^4 (mol × L^{-1})), KP–$gHSA_{8NS}$ ($K_{a(275nm)}$ = (0.74 ± 0.01) × 10^4 (mol × L^{-1}), $K_{a(295nm)}$

= (0.38 ± 0.01) × 10^4 (mol × L^{-1})) i KP–gHSA$_{8NNS}$ ($K_{a(275nm)}$ = (0.94 ± 0.01) × 10^4 (mol × L^{-1}), $K_{a(295nm)}$ = (0.11 ± 0.01) × 10^4 (mol×L^{-1})) wykazuje niższe wartości stałych asocjacji (K_a). Obecność KT może modyfikować konformację HSA i dostępność regionów zawierających reszty Tyrs i Trp–214, prowadząc do osłabienia wiązania KP; iii) wartość n bliska jedności odpowiada wiązaniu ok. jednej cząsteczki KP przez jedną cząsteczkę albuminy, natomiast $n_H \approx 1$ świadczy o braku kooperatywności wiązania.

Wnioski: Wzrost stężenia KT może osłabiać wiązanie KP z albuminą, prowadząc do zwiększenia udziału wolnej frakcji leku. Zjawisko to może wpływać na farmakokinetykę KP oraz potencjalnie zwiększać ryzyko wystąpienia działań niepożądanych. Uzyskane wyniki wskazują zatem na potrzebę uwzględnienia zmian stężenia KT u pacjentów z zaburzeniami metabolicznymi podczas oceny bezpieczeństwa i skuteczności farmakoterapii.

[1] A. Szkudlarek, J. Pożycka, K. Kulig, A. Owczarzy, W. Rogóż, M. Maciążek-Jurczyk. Changes in Glycated Human Serum Albumin Binding Affinity for Losartan in the Presence of Fatty Acids In Vitro Spectroscopic Analysis. Molecules, Issue 27 No 2, Page 401 (2022).

Praca zrealizowana ze środków finansowych umowy nr BNW-1-049/N/4/F.

Wpływ endogennych kwasów tłuszczowych na wiązanie losartanu do albuminy wyizolowanej z surowicy pacjentów z marskością wątroby – badanie pilotażowe

Agnieszka Szkudlarek[1], Karolina Jezierska[2]

[1] Katedra i Zakład Farmacji Fizycznej, Wydział Nauk Farmaceutycznych w Sosnowcu, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach;
[2] Zakład Fizyki Medycznej, Wydział Farmacji, Biotechnologii Medycznej i Medycyny Laboratoryjnej, Pomorski Uniwersytet Medyczny wSzczecinie

Albumina surowicy ludzkiej (HSA) stanowi około 60% całkowitej puli białek surowicy. Dzięki zdolności do wiązania licznych endo- i egzogennych substancji odgrywa istotną rolę w farmakokinetyce leków, wpływając na ich dystrybucję oraz udział frakcji wolnej, odpowiedzialnej za działanie farmakologiczne. W przebiegu marskości wątroby HSA może ulegać modyfikacjom strukturalnym prowadzącym do zmian jej właściwości wiążących. Istotną rolę w modulowaniu oddziaływań lek–albumina odgrywają również endogenne kwasy tłuszczowe (KT), które mogą konkurować z ligandami o miejsca wiązania, oddziaływać z nimi synergistycznie lub indukować zmiany konformacyjne albuminy, wpływające na dostępność i powinowactwo innych miejsc wiążących.

Celem pracy była ocena wpływu endogennych KT na konformację albuminy wyizolowanej z surowicy pacjentów z marskością wątroby oraz na jej oddziaływanie z losartanem (LOS), lekiem stosowanym w terapii nadciśnienia tętniczego. W badaniu porównano albuminę zawierającą endogenne KT (LC–HSA) z albuminą odtłuszczoną (dfLC–HSA), analizując właściwości fluorescencyjne białka oraz parametry wygaszania i wiązania w układach LOS– LC–HSA i LOS–dfLC–HSA.

Badania pilotażowe przeprowadzone z zastosowaniem spektrofluorymetrii i dichroizmu kołowego pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków: (i) usunięcie endogennych KT spowodowało mierzalne zmiany właściwości fluorescencyjnych LC–HSA, obejmujące zmianę intensywności i kształtu pasma emisji oraz przesunięcie maksimum fluorescencji w kierunku fal dłuższych. Różnice w wartościach maksymalnej intensywności fluorescencji (F_{max}), szerokości pasma w połowie wysokości (FWHM) i parametru spektralnego A wskazują na reorganizację mikrośrodowiska reszt aromatycznych albuminy. Obserwowane przesunięcie batochromowe może świadczyć o zwiększeniu polarności i/lub dostępności fluoroforów dla rozpuszczalnika, szczególnie w mikrośrodowisku reszty Trp-214; (ii) słabsze wygaszanie fluorescencji dfLC–HSA przez LOS w porównaniu z LC–HSA – odpowiednio (28.84 ± 1.40)% i (39.40 ± 1.64)% – wskazuje na mniejszą efektywność wygaszania fluorescencji reszty Trp-214 po usunięciu KT; (iii) w porównaniu z kompleksem LOS–LC–HSA ($K_{a(275nm)}$ = (1.34 ± 0.04) x 10^4 (L×mol^{-1}), $K_{a(295nm)}$ = (0.61 ± 0.11) x 10^4 (L×mol^{-1})), kompleks LOS–dfLC–HSA charakteryzował się wyższymi wartościami stałej asocjacji ($K_{a(275nm)}$ = (1.79 ± 0.05) x 10^4 (L×mol^{-1}), $K_{a(295nm)}$ = (1.35 ± 0.14) x 10^4 (L×mol^{-1})). Usunięcie endogennych KT zwiększyło powinowactwo LOS do albuminy, szczególnie w warunkach selektywnego wzbudzenia Trp-214. Endogenne KT mogą zatem modyfikować konformację LC–HSA oraz dostępność obszarów uczestniczących w wiązaniu LOS, prowadząc do zmniejszenia stabilności powstałego kompleksu; (iv) analiza widm *far*–UV CD wykazała, że związanie LOS z LC–HSA spowodowało niewielką reorganizację struktury drugorzędowej, przy zachowaniu dominującej struktury α-helikalnej białka.

Uzyskane wyniki wskazują, że w badanym modelu *in vitro* obecność endogennych KT może zmniejszać powinowactwo LOS do albuminy surowicy pacjentów z marskością wątroby, a tym samym potencjalnie zwiększać udział wolnej frakcji leku. Wyniki te uzasadniają dalsze badania nad wpływem endogennych KT na wiązanie i farmakokinetykę LOS oraz nad znaczeniem tego efektu dla indywidualizacji terapii u pacjentów z marskością wątroby.

Podziękowania: Pracę zrealizowano w ramach projektu badawczego nr BNW-1-067/K/5/F, finansowanego ze środków Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach.

Autorki składają serdeczne podziękowania Panu Prof. Tomaszowi Wielkoszyńskiemu za przekazanie do celów badawczych próbek albuminy wyizolowanej z surowicy pacjentów z marskością wątroby.

Ocena wpływu właściwości fizykochemicznych na internalizację mikro- i nanoplastików przy pomocy mikrospektroskopii ramanowskiej

Kacper Świzdor[1], Nina Łypaczewska[1], Julia Kowalczyk[1], Natalia Janik-Olchowa[2], Magdalena Wytrwał[3], Joanna Chwiej[1]

[1] Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie;
[2] Instytut Zoologii i Badań Biomedycznych, Uniwersytet Jagielloński w Krakowie;
[3] Akademickie Centrum Materiałów i Nanotechnologii, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Mikroplastiki stanowią jedno z najbardziej rozpowszechnionych zanieczyszczeń środowiska, a ich obecność wykrywana jest w wodzie, glebie, powietrzu oraz organizmach żywych. Ze względu na swoje niewielkie rozmiary mogą wchodzić w kontakt z komórkami ludzkimi i potencjalnie wpływać na ich funkcjonowanie. Pomimo rosnącego zainteresowania tym zagadnieniem nadal brakuje jednoznacznych i systematycznych badań dotyczących internalizacji mikro- i nanoplastików oraz ich wpływu na komórki żeńskiego układu rozrodczego. Celem niniejszej pracy było zbadanie potencjalnej internalizacji cząstek polistyrenu oraz ocena ich możliwego wpływu na biochemię komórek żeńskiego układu rozrodczego z wykorzystaniem mikrospektroskopii ramanowskiej. Przeprowadzono preparatykę komórek na potrzeby badań ramanowskich, tak aby możliwe było wykonywanie pomiarów przy wykorzystaniu większej mocy lasera oraz w warunkach zbliżonych do fizjologicznych – w zanurzeniu i z użyciem obiektywu immersyjnego. W badaniach zastosowano cząstki PS o trzech rozmiarach: 100 nm, 1 µm oraz 5 µm. Komórki eksponowano na mikro- i nanoplastik w dwóch stężeniach: 0,001 mg/mL oraz 0,0001 mg/mL oraz dwóch czasach ekspozycji. Tak zaprojektowany układ eksperymentalny pozwolił na ocenę zależności między rozmiarem cząstek, ich stężeniem oraz czasem kontaktu z komórkami. Widma ramanowskie analizowano pod kątem obecności charakterystycznych pasm polistyrenu, w szczególności w zakresie fingerprint oraz w obszarze drgań C–H, co umożliwiło ocenę potencjalnej obecności cząstek PS w obrębie komórek. Równocześnie zwrócono uwagę na zmiany w pasmach związanych ze składnikami biochemicznymi komórek, takimi jak lipidy, białka i kwasy nukleinowe. Uzyskane wyniki mogą przyczynić się do lepszego zrozumienia interakcji mikro- i nanoplastików z komórkami układu rozrodczego oraz stanowić podstawę do dalszych badań nad ich potencjalnym wpływem biologicznym. Projekt „Wpływ mikro- i nanocząstek plastiku na homeostazę oksydacyjną, strukturę cytoszkieletu i profil ekspresji genów w komórkach układu rozrodczego" został zrealizowany dzięki wsparciu programu IDUB, Inicjatywa Doskonałości Uczelnia Badawcza, w ramach działania D12 „Integracja procesu kształcenia z badaniami naukowymi". Finansowanie uzyskano w konkursie „Wsparcie Kół Naukowych", edycja VI na rok akademicki 2025/2026.

E-POSTER: DIAGNOSTYKA OBRAZOWA I MEDYCYNA NUKLEARNA

Walidacja wykorzystania skanera PET/CT jako metody analizy chromatografii cienkowarstwowej w kontroli jakości radiofarmaceutyków

Piotr Zorga[1], Katarzyna Cichoń[2], Aleksandra Supińska[3]

[1] Instytut Nauk o Zdrowiu, Wydział Lekarski i Nauk o Zdrowiu Budynek F, Zakład Radiologii i Medycyny Nuklearnej, ul. Zyty 28, 65-046 Zielona Góra;
[2] Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Elektryczny, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin;
[3] Akademia im. Jakuba z Paradyża w Gorzowie Wlkp., Wydział Nauk o Zdrowiu, ul. Chopina 52, 66-400 Gorzów Wlkp.

Wstęp: Ocena czystości radiochemicznej stanowi jeden z podstawowych elementów kontroli jakości radiofarmaceutyków przed ich podaniem pacjentowi. Najczęściej wykorzystywaną metodą jest chromatografia cienkowarstwowa (TLC) z analizą rozkładu aktywności przy użyciu dedykowanego skanera radiochromatograficznego. W ośrodkach medycyny nuklearnej skanery do chromatografii są dostępne i konieczne do kontroli czystości radiochemicznej preparatów znakowanych na miejscu w pracowni.

Cel pracy: Celem badania była ocena przydatności skanera PET/CT do analizy chromatogramów TLC uzyskanych w procesie kontroli jakości radiofarmaceutyków znakowanych izotopem galu-68 oraz określenie stopnia korelacji wyników oznaczenia czystości radiochemicznej z wynikami uzyskanymi przy zastosowaniu standardowej metody TLC.

Materiał i metody: Badanie przeprowadzono w Klinicznym Zakładzie Medycyny Nuklearnej z Pracownią PET/CT w Gorzowie Wielkopolskim. Do analizy włączono ponad 100 próbek znakowanych preparatów radiofarmaceutycznych poddanych rutynowej kontroli jakości przed dopuszczeniem do zastosowania klinicznego. Dla każdej próbki wykonywano chromatografię cienkowarstwową zgodnie z obowiązującymi procedurami kontroli jakości. Płytki TLC analizowano dwiema metodami: z wykorzystaniem dedykowanego skanera TLC oraz poprzez akwizycję obrazów na skanerze PET/CT według opracowanego, standaryzowanego protokołu obrazowania. Obrazy PET rekonstruowano zgodnie z parametrami stosowanymi w praktyce klinicznej, a następnie przeprowadzano ilościową analizę rozkładu aktywności z wykorzystaniem regionów zainteresowania (ROI)/(VOI). Oceniano udział procentowy frakcji odpowiadającej produktowi końcowemu oraz zanieczyszczeniom radiochemicznym. Zgodność wyników uzyskanych obiema metodami oceniono z wykorzystaniem analizy korelacji oraz metod statystycznych służących do oceny zgodności pomiarów.

Wyniki: Analiza ponad 100 próbek wykazała wysoką zgodność pomiędzy oznaczeniami wykonanymi metodą referencyjną a analizą opartą na obrazowaniu PET/CT. Stwierdzono silną korelację wartości czystości radiochemicznej oraz porównywalną możliwość identyfikacji i ilościowej oceny poszczególnych frakcji aktywności. Zastosowana metoda PET/CT charakteryzowała się dobrą powtarzalnością pomiarów oraz umożliwiała uzyskanie obrazów o jakości pozwalającej na wiarygodną analizę chromatogramów TLC. Zaobserwowane różnice pomiędzy metodami pozostawały w granicach akceptowalnych dla rutynowej kontroli jakości.

Wnioski: Uzyskane wyniki wskazują, że skaner PET/CT może stanowić wiarygodne narzędzie do ilościowej analizy chromatogramów TLC i oceny czystości radiochemicznej znakowanych preparatów. Wysoka zgodność z metodą referencyjną potwierdza potencjał wykorzystania obrazowania PET/CT jako metody alternatywnej lub uzupełniającej w laboratoriach radiofarmaceutycznych. Doświadczenia Klinicznego Zakładu Medycyny Nuklearnej z Pracownią PET/CT w Gorzowie Wielkopolskim, oparte na analizie ponad 100 próbek, wskazują na możliwość wdrożenia tej metody do rutynowej praktyki kontroli jakości, szczególnie w ośrodkach dysponujących aparaturą PET/CT.

Whole-Body MRI – znaczenie, możliwości i wyzwania we współczesnej diagnostyce obrazowej

Monika Garczarek[1], Patrycja Mazgaj[1], Anna Hebda[1]

[1] Zakład Radiologii i Diagnostyki Obrazowej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział w Gliwicach

Cel: Celem pracy jest przedstawienie praktycznego zastosowania rezonansu magnetycznego całego ciała (ang. *whole-body magnetic resonance imaging – WB-MRI*) we współczesnej diagnostyce obrazowej z uwzględnieniem wskazań klinicznych, obowiązujących wytycznych, zasad planowania badania oraz roli algorytmów AI w skróceniu czasu akwizycji i optymalizacji jakości obrazów.

Materiał i metoda: Rezonans magnetyczny całego ciała jest nieinwazyjną metodą obrazowania umożliwiającą ocenę wielu okolic anatomicznych podczas jednego badania, bez narażania pacjenta na promieniowanie jonizujące. Badania wykonano w NIO-PIB, Oddział w Gliwicach, z wykorzystaniem aparatów MR o indukcji pola 1,5 T. Protokół zawierał sekwencje T1-zależne, T2-zależne, STIR, DIXON oraz obrazowanie dyfuzyjne – DWI wraz z mapami ADC. Połączenie tych technik pozwala na ocenę narządów wewnętrznych, tkanek miękkich, układu mięśniowo-szkieletowego oraz szpiku kostnego.

Wyniki: WB-MRI umożliwia kompleksową ocenę pacjenta w jednym badaniu, zapewniając wysoki kontrast tkanek miękkich oraz możliwość wykrywania zmian ogniskowych w różnych lokalizacjach anatomicznych. Metoda ta ma szczególne zastosowanie w onkologii, m.in. w wykrywaniu przerzutów oraz pacjentów, u których istotne jest unikanie ekspozycji na promieniowanie jonizujące (zespół Li-Fraumeni, pacjentki w ciąży). Obrazowanie dyfuzyjne zwiększa wartość diagnostyczną badania, umożliwiając ocenę zmian na poziomie funkcjonalnym. Do głównych wyzwań WB-MRI należą stosunkowo długi czas badania, duża liczba uzyskiwanych obrazów, obecność artefaktów oraz konieczność standaryzacji protokołów badania. Wykorzystanie algorytmów AI pozwala znacząco skrócić czas akwizycji przy zachowaniu wysokiej jakości diagnostycznej obrazów.

Wnioski: Rezonans magnetyczny całego ciała to wartościowa metoda diagnostyczna, umożliwiająca jednoczasową ocenę wielu struktur anatomicznych bez użycia promieniowania jonizującego. WB-MRI dostarcza zarówno informacji morfologicznych, jak i funkcjonalnych, co zwiększa jego przydatność szczególnie w diagnostyce onkologicznej oraz w grupach pacjentów wymagających ograniczenia ekspozycji na promieniowanie jonizujące. Pełne wykorzystanie potencjału tej metody wymaga odpowiedniego doboru i optymalizacji protokołów, standaryzacji badania oraz doświadczenia interdyscyplinarnego zespołu.

Rezonans magnetyczny serca u pacjentów z wszczepialnymi układami stymulującymi – wyzwania i praktyczne rozwiązania

Anna Glińska[1]

[1] Gdański Uniwersytet Medyczny, Uniwersyteckie Centrum Kliniczne

Wraz ze wzrostem liczby pacjentów z wszczepionymi urządzeniami do elektroterapii serca oraz rosnącym znaczeniem rezonansu magnetycznego serca (CMR) w diagnostyce chorób układu sercowo-naczyniowego coraz częściej zachodzi potrzeba wykonywania badań CMR u chorych ze stymulatorami serca. Pomimo postępu technologicznego i dostępności urządzeń MR Conditional, badania tej grupy pacjentów nadal wiążą się z szeregiem wyzwań dotyczących bezpieczeństwa, jakości obrazowania oraz właściwego doboru parametrów akwizycji.

Celem prezentacji jest omówienie najczęstszych problemów występujących podczas wykonywania badania CMR u pacjentów ze stymulatorami serca, ze szczególnym uwzględnieniem artefaktów związanych z obecnością generatora i elektrod, ograniczeń w ocenie wybranych struktur mięśnia sercowego oraz trudności związanych z synchronizacją EKG. Przedstawione zostaną również aktualne zasady kwalifikacji pacjentów do badania, przygotowania urządzenia przed i po badaniu oraz współpracy wielodyscyplinarnego zespołu zapewniającej bezpieczeństwo procedury.

W prezentacji zaprezentowane zostaną praktyczne metody redukcji artefaktów i poprawy jakości diagnostycznej obrazów, obejmujące modyfikację pozycji pacjenta, optymalizację parametrów akwizycji oraz wykorzystanie dedykowanych sekwencji obrazowania. Szczególna uwaga zostanie poświęcona sekwencjom cine, obrazowaniu późnego wzmocnienia pokontrastowego (LGE), mapowaniu parametrycznemu oraz technikom redukcji artefaktów metalicznych, które pozwalają zwiększyć wartość diagnostyczną badania mimo obecności wszczepionego urządzenia.

Przedstawione doświadczenia i rekomendacje mają na celu dostarczenie praktycznych wskazówek dla fizyków, lekarzy i techników elektroradiologii wykonujących badania CMR, umożliwiających uzyskanie wysokiej jakości obrazów przy zachowaniu najwyższych standardów bezpieczeństwa pacjenta.

Metody rezonansu magnetycznego w ilościowej ocenie stłuszczenia wątroby

Beata Brzeska[1]

[1] II Zakład Radiologii, Gdański Uniwersytet Medyczny

Stłuszczenie wątroby jest stanem chorobowym związanym z akumulacją lipidów w hepatocytach, najczęściej obserwowanym w przebiegu zaburzeń metabolicznych, w szczególności otyłości oraz zespołu metabolicznego. Dokładna ocena oraz monitorowanie zawartości tłuszczu w wątrobie ma kluczowe znaczenie dla diagnostyki i oceny progresji zmian chorobowych, a także dla oceny skuteczności postępowania terapeutycznego.

Celem pracy jest przedstawienie metod ilościowej analizy stłuszczenia wątroby w rezonansie magnetycznym obejmujących PDFF, spektroskopię rezonansu magnetycznego, techniki Dixon oraz sekwencje T2*.

Obrazowanie metodą rezonansu magnetycznego stanowi obecnie jedną z podstawowych technik nieinwazyjnej ilościowej oceny stłuszczenia wątroby. Do najczęściej stosowanych metod należą: *proton density fat fraction* (PDFF), spektroskopia rezonansu magnetycznego, techniki typu Dixon oraz wieloechowe sekwencje gradient-echo umożliwiające mapowanie relaksacji T2*.

Spektroskopia rezonansu magnetycznego umożliwia bezpośrednią analizę widma sygnału i ilościową ocenę zawartości lipidów w wybranym wolumenie pomiarowym. Metoda ta cechuje się wysoką dokładnością, jednak jej ograniczeniem jest lokalny charakter pomiaru, zależność od precyzyjnego umiejscowienia woksela oraz wrażliwość na artefakty ruchowe i zaburzenia jednorodności pola.

Techniki Dixon opierają się na różnicach fazowych sygnału wody i tłuszczu rejestrowanych przy różnych czasach echa, co umożliwia ich separację oraz estymację frakcji tłuszczowej. Metody te są szeroko dostępne klinicznie i pozwalają na obrazowanie całej wątroby, jednak ich dokładność może być ograniczona przez niejednorodność pola magnetycznego, efekty relaksacji T2* oraz założenia modelu sygnału, szczególnie w obecności przeciążenia żelazem.

PDFF stanowi jedną z referencyjnych metod ilościowej oceny stłuszczenia, definiowaną jako stosunek sygnału protonów tłuszczu do sumy sygnałów protonów tłuszczu i wody, z uwzględnieniem korekcji efektów relaksacyjnych oraz struktury widma lipidów. Zapewnia to wysoką powtarzalność pomiarów oraz możliwość porównywania wyników pomiędzy różnymi ośrodkami i systemami MRI.

Wieloechowe sekwencje gradient-echo umożliwiają jednoczesną ocenę zawartości tłuszczu oraz depozytów żelaza poprzez modelowanie zaniku sygnału w funkcji czasu echa. Metody te wymagają korekcji efektów relaksacyjnych i są wrażliwe na parametry akwizycji oraz artefakty.

Na jakość ilościowej oceny stłuszczenia wpływają również czynniki związane z pacjentem, w szczególności BMI, które może oddziaływać na jednorodność pola magnetycznego oraz stosunek sygnału do szumu, co przekłada się na precyzję i powtarzalność pomiarów.

Badanie zależności kątowej luminancji monitorów ciekłokrystalicznych (LCD)

Barbara Fijałka[1], Witold Skrzyński[1], Katarzyna Pasicz[1]

[1] Zakład Fizyki Medycznej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

Cel badania: Celem niniejszej pracy było zbadanie zależności kątowej luminancji oraz kontrastu monitorów ciekłokrystalicznych (LCD) jako jednych z powszechnie używanych monitorów opisowych w radiologii ogólnej, tomografii komputerowej oraz mammografii.

Materiały i metody: Pomiary przeprowadzone zostały dla dwóch stacji opisowych wykorzystujących po dwa monitory – do radiologii ogólnej i CT oraz do mammografii – w trzech płaszczyznach: pionowej, poziomej i diagonalnej. Pomiary przeprowadzono z wykorzystaniem miernika CD-Lux zamontowanym na statywie pozwalającym na regulację ustawienia dla serii 18 obrazów testowych w zakresie kątów od 15° do 90°.

Dane pomiarowe przedstawiono w postaci wykresów dla poszczególnych monitorów, uwzględniając podział na płaszczyznę oraz kąt, pod jakim dokonywano pomiarów. Ponadto z uzyskanych danych wyznaczono krzywe przedstawiające względny kontrast – kontrast między poszczególnymi obrazami testowymi. Wyliczono odchylenie względnego kontrastu dla poszczególnych obrazów testowych od względnego kontrastu wyznaczonego z funkcji GSDF (Grayscale Standard Display Function).

Wyniki: Wyznaczone krzywe zachowują zbliżony do siebie przebieg, ale zmierzone wartości luminancji spadają wraz ze spadkiem kąta pomiaru. Z zaprezentowanych na wykresach danych zaobserwowano niewielkie różnice w wartościach luminancji dla kątów 75° i 90° we wszystkich z trzech badanych płaszczyzn. Średnia różnica w zmierzonych wartościach luminancji odnotowana dla najjaśniejszego obrazu testowego wyniosły 86,8 cd/m² dla stacji mammograficznej oraz 14,1 cd/m² dla stacji opisowej radiologii ogólnej i TK. Ponadto wykazano zgodność odchylenia względnego kontrastu z kryterium akceptacji (wynoszącym 10%) zawartym w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia w sprawie testów eksploatacyjnych urządzeń radiologicznych i urządzeń pomocniczych (Dz.U. 2022 poz. 2759) dla pomiarów wykonanych przy kątach 90°, 75° oraz 60° we wszystkich badanych płaszczyznach.

Wnioski: Na podstawie wyników zebranych z analizy luminancji 4 medycznych monitorów LCD w trzech płaszczyznach potwierdzono, że wraz z odchyleniem pomiaru od kąta 90° zmniejsza się mierzona luminancja, co wiąże się ze spadkiem względnego oraz maksymalnego kontrastu. Dla kątów pomiarowych poniżej 60° odchylenie względnego kontrastu nie spełnia kryterium akceptacji 10%.

Biopsja prostaty pod kontrolą MR – praktyczne aspekty, wyzwania i wnioski po 7 latach doświadczeń

Monika Garczarek[1], Patrycja Mazgaj[1], Anna Hebda[1]

[1] Zakład Radiologii i Diagnostyki Obrazowej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział w Gliwicach

Cel: Celem pracy jest podsumowanie siedmioletnich doświadczeń w wykonywaniu biopsji gruczołu krokowego pod kontrolą rezonansu magnetycznego. Praca przedstawia praktyczne spostrzeżenia interdyscyplinarnego zespołu oraz omawia znaczenie współpracy elektroradiologa, fizyka medycznego i lekarza w optymalizacji przebiegu procedury, jej bezpieczeństwa oraz skuteczności diagnostycznej.

Materiał i metoda: Biopsje wykonano w Zakładzie Radiologii i Diagnostyki Obrazowej NIO-PIB, Oddział w Gliwicach, na aparacie rezonansu magnetycznego o indukcji pola 3 T z wykorzysta-

niem systemu Soteria Medical umożliwiającego precyzyjne planowanie i prowadzenie toru igły biopsyjnej w środowisku MR. Przebieg procedury opierał się na ścisłej współpracy zespołu interdyscyplinarnego. Elektroradiolog odpowiadał za przygotowanie i ułożenie pacjenta, prawidłowe zaplanowanie sekwencji oraz bieżącą kontrolę jakości obrazów. Fizyk medyczny uczestniczył w opracowaniu oraz optymalizacji protokołu badania, ze szczególnym uwzględnieniem redukcji artefaktów oraz zapewnienia bezpieczeństwa pracy w środowisku MR. Lekarz odpowiadał za kwalifikację pacjenta do biopsji, wyznaczenie targetu, nadzór nad przebiegiem procedury i pobranie materiału do badania histopatologicznego.

Wyniki: 7-letnie doświadczenie pozwoliło na wypracowanie powtarzalnego modelu współpracy pomiędzy elektroradiologiem, fizykiem medycznym i lekarzem, co przełożyło się na sprawniejsze przygotowanie pacjenta, bardziej efektywne planowanie badania oraz optymalizacje przebiegu biopsji. Jasny podział zadań i stała komunikacja w zespole umożliwiły ograniczenie liczby powtórzonych sekwencji, poprawę jakości obrazowania oraz skrócenie czasu wykonywania procedury. Szczególne znaczenie miała szybka identyfikacja i rozwiązywanie problemów, takich jak: artefakty ruchowe, nieoptymalne ułożenie pacjenta czy ograniczenia wynikające z pracy w przestrzeni aparatu MR.

Wnioski: Biopsja prostaty pod kontrolą rezonansu magnetycznego jest procedurą wymagającą ścisłej i dobrze skoordynowanej współpracy interdyscyplinarnego zespołu. Doświadczenia własne wskazują, że standaryzacja postępowania, jasny podział ról oraz bieżąca i skuteczna komunikacja pomiędzy elektroradiologiem, fizykiem medycznym i lekarzem mają kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa pacjenta, jakości obrazowania, precyzji pobrania materiału oraz sprawnego przebiegu procedury. Interdyscyplinarny model pracy stanowi istotny element skutecznego i powtarzalnego wykonywania biopsji prostaty pod kontrolą MR.

Generowanie wydruków 3D płodów na podstawie modeli uzyskanych z sekwencji obrazów MRI 2D

Joanna Gwizdała[1]

[1] Zakład Radiologii, Uniwersyteckie Centrum Kliniczne w Gdańsku

Cel: Opracowanie procesu generowania fizycznych modeli 3D płodów na podstawie dwuwymiarowych sekwencji obrazów rezonansu magnetycznego (MRI) oraz ocena przydatności uzyskanych wydruków w zastosowaniach klinicznych, edukacyjnych i komunikacyjnych.

Materiał i metoda: Wykorzystano serie przekrojów MRI przedstawiających anatomię płodu. Przeprowadzono półautomatyczną segmentację obrazów oraz rekonstrukcję przestrzenną, prowadzącą do utworzenia cyfrowego modelu trójwymiarowego. Uzyskane modele poddano obróbce geometrycznej (wygładzaniu powierzchni, korekcji artefaktów, naprawie siatki) i wyeksportowano w formacie STL. Następnie wykonano fizyczne wydruki w technologii wytwarzania przyrostowego.

Wyniki: Uzyskane wydruki zachowały zgodność geometryczną z modelami cyfrowymi. Należy jednak zaznaczyć, że ograniczona rozdzielczość przestrzenna MRI oraz interpolacja danych pomiędzy warstwami sekwencji 2D sprawiają, że modele odwzorowują ogólną morfologię i topografię struktur, a nie ich szczegółową anatomię. USG płodowe osiąga wprawdzie wysoką rozdzielczość w płaszczyźnie obrazowania, natomiast MRI płodu charakteryzuje się rozdzielczością rzędu 2 mm w płaszczyźnie przy grubości warstwy 3–5 mm. W zamian zapewnia lepszą rozdzielczość kontrastową tkanek miękkich i nie podlega ograniczeniom wynikającym z okna akustycznego.

Wnioski: Integracja obrazowania MRI z technologiami druku 3D wykazuje duży potencjał w medycynie prenatalnej. Fizyczne modele 3D mogą znaleźć zastosowanie w diagnostyce prenatalnej, planowaniu procedur medycznych, edukacji studentów kierunków medycznych oraz w komunikacji między personelem medycznym a rodzicami.

Analiza porównawcza autorskiej sieci konwolucyjnej (MammoNet) z modelem uczenia transferowego (ResNet-18) w klasyfikacji obrazów mammograficznych z zastosowaniem technik Explainable AI

Michał Janiszewski[1]

[1] Uniwersytet Gdański

Cel pracy: Celem pracy jest kompleksowa analiza porównawcza dwóch klasyfikatorów CNN. W tym celu zestawiono autorski model MammoNet, zaprojektowany z uwzględnieniem przestrzennych właściwości obrazów mammograficznych wraz z modelem ResNet-18 opartym na uczeniu transferowym.

Materiały i metodyka: Materiał badawczy stanowiły cyfrowe mammogramy z bazy CBIS-DDSM (*Curated Breast Imaging Subset of DDSM*) podzielone na dwie klasy –zwapnienie i guz – z zachowaniem podziału na podzbiory: uczący i testowy. Zbiorczy zestaw testowy liczył N = 619 obrazów. Analizie poddano autorską sieć konwolucyjną MammoNet wyposażoną w mechanizm

uwagi przestrzennej (Spatial Attention) oraz model ResNet-18 wykorzystujący uczenie transferowe na bazie wag ImageNet. Ewaluację przeprowadzono z uwzględnieniem standardowych metryk diagnostycznych oraz jakościowej analizy procesu podejmowania decyzji przez modele za pomocą algorytmu Grad-CAM z centralną maską (Center-Biased Gaussian Mask).

Strategie przetwarzania wstępnego zostały przeprowadzone odpowiednio do wymagań architektonicznych obu modeli. Model MammoNet jest autorską, 3-blokową siecią konwolucyjną. Każdy blok operuje filtrami 3 × 3 z normalizacją wsadową (*Batch Normalization*) i funkcją aktywacji ReLU, zakończonym warstwą Max Pooling 2 × 2. Model ResNet-18 to 18-warstwowa sieć rezydualna zainicjalizowana wagami IMAGENET1K_V1. Optymalizację parametrów obu modeli przeprowadzono przez 15 epok z użyciem algorytmu Adam ($lr = 10^{-4}$). Dla modelu MammoNet zastosowano funkcję straty Focal Loss, która poprzez modyfikację entropii krzyżowej redukuje wpływ negatywnych przykładów na gradient, korygując problem niezbalansowania klas. Dla modelu ResNet-18 zastosowano standardową binarną entropię krzyżową. Ocenę wydajności przeprowadzono w oparciu o dokładność (Accuracy), czułość (Sensitivity), swoistość (Specificity), precyzję (Precision) oraz pole pod krzywą ROC (AUC). Powyższe parametry stanowią standard ewaluacji w pracach z zakresu CAD dla mammografii.

Wyniki: Model ResNet-18 uzyskał istotnie wyższe parametry klasyfikacyjne: dokładność = 0,919, czułość = 0,966, swoistość = 0,846, AUC = 0,976, względem MammoNet (dokładność = 0,821, AUC = 0,863). Statystyczna przewaga ResNet-18 została potwierdzona testem McNemara z poprawką Edwardsa na ciągłość ($x^2 = 10,32$, $p \approx 0,0013$, p □ 0,05). Mimo uzyskanych wyników analiza map atrybucji Grad-CAM wykazała przewagę MammoNet w precyzji lokalizacji zmian radiologicznych względem modelu transferowego, który wykazywał tendencję do aktywacji obszarów tła

Wnioski: Niniejsza praca wykazała statystycznie istotną wyższość modelu ResNet-18 z uczeniem transferowym nad autorską siecią MammoNet w zadaniu binarnej klasyfikacji zmian mammograficznych (zwapnienie vs. guz). Przewaga jest wielowymiarowa, obejmuje dokładność (Δ = 0,098), swoistość (Δ = 0,170) oraz AUC (Δ = 0,113) i została potwierdzona testem McNemara ($x^2 = 10,32$, $p \approx 0,0013$). Jednocześnie analiza Explainable AI ujawniła ograniczenie modeli transferowych w zakresie precyzji lokalizacji zmian patologicznych w mapach Grad-CAM. Optymalną architekturą klinicznych systemów CAD w mammografii jest synteza głębokiej sieci rezydualnej pretrenowanej na dużych zbiorach danych z mechanizmem uwagi przestrzennej.

Codzienne dopuszczenie tomografu komputerowego do użytkowania klinicznego na podstawie kontroli jakości, w tym zgodnie z wymaganiem producenta

Agnieszka Kuchcińska[1], Mateusz Tietz[2], Aleksandra Stradowska[2], Małgorzata Żuchowska[2], Damian Wójcik[3], Przemysław Palczyński[4]

[1] UCK WUM – Uniwersyteckie Centrum Kliniczne Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego / Affidea Onkoterapia MCO Koszalin / Centrum Zdrowia Piaseczno;
[2] Affidea Onkoterapia, MCO Koszalin;
[3] UCK WUM – Uniwersyteckie Centrum Kliniczne Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego;
[4] Affidea Okoterapia, MCO Koszalin

Cel: Powszechnie przyjęło się, że do dopuszczenia do codziennej pracy klinicznej wystarczające jest wykonanie kontroli parametrów fizycznych – zgodnie z art. 33l Prawa atomowego, tj. w przypadku Tomografii Komputerowej (TK) testów odbiorczych i eksploatacyjnych – specjalistycznych (po instalacji, naprawie lub raz do roku) oraz testów eksploatacyjnych – podstawowych (co miesiąc, co 6 miesięcy) zgodnie z rozporządzeniem Ministra zdrowia w sprawie testów eksploatacyjnych urządzeń radiologicznych i urządzeń pomocniczych. Jednakże obowiązuje jednocześnie ustawa o wyrobach medycznych, zgodnie z którą wszystkie wyroby medyczne powinny być kontrolowane i sprawdzane zgodnie z zaleceniami producenta. Celem pracy było sprawdzenie, czy konieczne są inne dodatkowe testy kontroli jakości – w szczególności wykonywane z dużo większą częstotliwością lub w szerszym zakresie, w celu codziennej weryfikacji dopuszczenia tomografu komputerowego do pracy klinicznej.

Materiał i metoda: Przeanalizowano pod kątem techniczno-prawnym dokumentacje techniczne kilku największych dostawców tomografów komputerowych, m.in. SIEMENS, GE, PHILIPS, TOSHIBA, pod kątem zawartych zapisów dotyczących częstotliwości, rodzaju i sposobu wykonania testów kontroli jakości TK w celu codziennego dopuszczenia do pracy klinicznej.

Wyniki: W dokumentacji technicznej producentów pojawiają się zapisy zawierające sformułowania, takie jak: „należy regularnie wykonywać pomiary jakości" wraz z wytłumaczeniem, że pomiary te wykonuje się w kilku krokach, tj. „codzienne pomiary jakości", „comiesięczne pomiary jakości". W przypadku testów miesięcznych producent wskazuje, że jedynie „ZALECA", aby testy miesięczne wykonywał ich przedstawiciel, co tym bardziej wskazuje na mocne słowo „należy wykonać" w odniesieniu do testu codziennego zawierającego pomiary wykonane przy zastosowaniu fantomu wodnego. Dodatkowo część producentów posiada własne oprogramowanie przechowujące dane dotyczące wykonania testu producenta, a w przypadku jego braku nie uwzględnia reklamacji dotyczącej problemów z jakością obrazu bądź dawką.

Wnioski: Wykonanie tylko testów eksploatacyjnych nie jest wystarczające do codziennego dopuszczenia TK do pracy klinicznej. W zależności od producenta zakres i rodzaj wymaganych testów

może się różnić, w szczególności wymagany jest codzienny test fantomu wodnego, np. sprawdzający jednorodność i wartość HU oraz wartość szumu. W celu dopuszczenia do pracy tomografu komputerowego powinny być wykonane zarówno testy wymagane przez producenta, a wynikające z ustawy dotyczącej wyrobów medycznych, jak również wszystkie testy wymagane prawem atomowym.

Jak fizyk medyczny może wdrożyć i utrzymać system codziennych testów tomografu komputerowego wg zaleceń producenta przy udziale dużego zespołu elektroradiologów?

Agnieszka Kuchcińska[1], Mateusz Tietz[2], Aleksandra Stradowska[2], Małgorzata Żuchowska[2], Damian Wójcik[3], Przemysław Palczyński[4], Anna Wyszyńska[3], Waldemar Mazur[3], Kamil Żebrowski[3]

[1] UCK WUM – Uniwersyteckie Centrum Kliniczne Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego / Affidea Onkoterapia MCO Koszalin / Centrum Zdrowia Piaseczno;
[2] Affidea Onkoterapia, MCO Koszalin;
[3] UCK WUM – Uniwersyteckie Centrum Kliniczne Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego;
[4] Affidea Okoterapia, MCO Koszalin

Cel: Zgodnie z art. 33h ustawy Prawo atomowe do zadań fizyka medycznego należy między innymi definiowanie kryteriów jakości urządzeń radiologicznych i urządzeń pomocniczych na potrzeby programu zapewnienia jakości, o którym mowa w art. 7 ust. 2. Oznacza to, że fizyk medyczny decyduje o tym, jakie testy są wymagane do dopuszczenia klinicznego tomografu komputerowego (TK) w każdym dniu pracy. W szczególności fizyk medyczny może podjąć decyzję o konieczności wykonywania codziennej kontroli jakości z fantomem wodnym. Jednocześnie nie jest możliwe, aby wykonywał takie testy osobiście w związku z ograniczeniami kadrowymi. Testy takie mogą wykonywać elektroradiolodzy. Celem pracy jest wskazanie praktycznych aspektów wdrożenia i utrzymania wiarygodnego systemu wykonywania testów codziennych TK przy udziale dużego zespołu elektroradiologów.

Materiał i metoda: Przeanalizowano pod kątem techniczno-prawnym dokumentacje techniczne kilku największych dostawców tomografów komputerowych, m.in. SIEMENS, GE, PHILIPS, TOSHIBA, pod kątem zawartych zapisów dotyczących częstotliwości, rodzaju i sposobu wykonania testów kontroli jakości TK w celu codziennego dopuszczenia do pracy klinicznej. Wdrożenie przeprowadzono dla aparatów TK: do diagnostyki obrazowej (w tym dzieci), SPECT-CT; PET-CT, oraz do planowania leczenia (testy znacząco rozszerzone w stosunku do wymaganych jedynie pomiarów jednostek HU). W celu opracowania procedur szkoleniowych celowo wywoływano błędne wykonanie testów podstawowych np. poprzez symulacje artefaktów lub dodatkowych środków kontrastowych, jak również niepoprawnego ułożenia fantomu. Zmierzono czas potrzebny do wykonywania testów codziennych.

Wyniki: Na podstawie dokumentacji opracowano formularze oceny jakości i dopuszczenia aparatów oraz dostosowane procedury wykonywania testów, jak również metodykę szkolenia i materiały szkoleniowe dostępne dla elektroradiologów przy aparacie. W przypadku niektórych producentów – w przeciwieństwie do testów miesięcznych – testy codzienne nie są w sposób łatwy oznaczane jako w tolerancji lub poza tolerancją i wymagają dodatkowej uwagi – która nie jest szczegółowo opisana w dokumentacji technicznej. Może to spowodować, że test zostanie wykonany, ale jego wynik będzie poza tolerancją i nie zostanie to zauważone przez osobę wykonującą pomiar. W przypadku innych producentów może istnieć potrzeba ręcznego wykonywania wielu testów, takich jak skala kontrastu, rozdzielczość wysokokontrastowa czy pomiar niskiego kontrastu w trybie serwisowym – co wymaga odpowiedniego wytłumaczenia i dodatkowego intensywnego szkolenia. Wykonanie dodatkowych czynności związanych z zeskanowaniem i oceną jakości fantomu waha się od 5 do 15 minut i jest uzasadniony korzyściami związanymi z wdrożonym systemem.

Wnioski: Walidacja i wdrożenie systemu testów codziennych z wykorzystaniem fantomu wodnego jest wymagającym zadaniem, ale możliwym do osiągnięcia. W zależności od producenta aparatu system szkolenia zespołu elektroradiologów będzie znacząco różny i dostosowany do specyfiki danego modelu TK. W szczególnych przypadkach może okazać się konieczna współpraca z aplikantem i/lub przedstawicielem serwisu w celu przygotowania dedykowanych protokołów do testów codziennych. Szkolenie powinno się odbywać osobiście z każdym elektroradiologiem indywidualnie w celu zagwarantowania odpowiedniego poziomu odtwarzalności i powtarzalności wykonywanych pomiarów. Procedury powinny zawierać informacje o możliwych błędach podczas wykonywania testów codziennych oraz informacje o metodach ich wyeliminowania. Wdrożenie systemu takich testów pozwala lepiej zarządzać wyrobem medycznym i uniknąć przestojów spowodowanych nagłą niespodziewaną usterką aparatu, ze względu na możliwość śledzenia trendów, ocenę dodatkowych parametrów, np. LCD (niski kontrast), czy możliwości ustalenia poziomów wcześniejszego reagowania w przypadku bardziej restrykcyjnych wymagań producenta w stosunku do wymagań prawa atomowego.

Zaawansowane techniki MRI w obrazowaniu nerwów czaszkowych

Patrycja Mazgaj[1], Anna Hebda[1], Monika Garczarek[1], Paweł Wawrzyniak[1]

[1] Zakład Radiologii i Diagnostyki Obrazowej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział w Gliwicach

Cel: Celem pracy jest przedstawienie możliwości zastosowania technik rezonansu magnetycznego (MRI) – 3D SPACE, CISS, DESS oraz DTI – do obrazowania wewnątrz- i zewnątrzczaszkowych odcinków nerwów czaszkowych, ze szczególnym uwzględnieniem doboru oraz optymalizacji protokołu badania.

Materiał i metoda: Wszystkie badania wykonano w Zakładzie Radiologii i Diagnostyki Obrazowej NIO-PIB Oddział w Gliwicach, z wykorzystaniem aparatów MR o indukcji pola 3 T. Do wizualizacji nerwów czaszkowych zastosowano zmodyfikowane przez użytkownika sekwencje 3D SPACE (Sampling Perfection with Application-optimised Contrasts using different flip angle Evolution), CISS (Constructive Interference in Steady State), DESS (Double Echo Steady State) oraz DTI (Diffusion Tensor Imaging). Sekwencje zoptymalizowano poprzez dostosowanie kluczowych parametrów akwizycji, takich jak rozdzielczość przestrzenna, grubość warstwy, czas repetycji i czas echa. Szczególną uwagę zwrócono również na orientację sekwencji względem struktur anatomicznych w celu poprawy widoczności nerwów.

Wyniki: Zastosowanie technik MRI, takich jak 3D SPACE, CISS, DESS oraz DTI, umożliwia wysokorozdzielczą wizualizację nerwów czaszkowych oraz otaczających je struktur. Optymalizacja sekwencji przyczyniła się do poprawy kontrastu obrazu, zwiększenia szczegółowości anatomicznej oraz lepszej oceny ich przebiegu w odcinkach wewnątrz- i zewnątrzczaszkowych, co zwiększyło wartość diagnostyczną uzyskanych obrazów.

Wnioski: W obrazowaniu nerwów czaszkowych kluczowe znaczenie ma zastosowanie dedykowanego protokołu MRI, w którym dobór zaawansowanych technik, takich jak 3D SPACE, CISS, DESS czy DTI, powinien być dostosowany do konkretnego pytania klinicznego oraz ocenianych struktur anatomicznych. Odpowiedni dobór oraz optymalizacja parametrów sekwencji MRI pozwalają na uzyskania obrazów wysokiej jakości, a tym samym zwiększają dokładność oceny anatomicznej oraz wartość diagnostyczną badań w obrazowaniu neuroonkologicznym.

Widmo pod wpływem – suplementy diety a interpretacja 1H-MRS mózgu

Patrycja Mazgaj[1], Anna Hebda[1], Paweł Wawrzyniak[1], Justyna Rembak-Szynkiewicz[1]

[1] Zakład Radiologii i Diagnostyki Obrazowej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział w Gliwicach

Cel: Celem pracy jest przedstawienie wpływu suplementów diety na obraz widma mózgu uzyskiwanego metodą protonowej spektroskopii rezonansu magnetycznego – 1H-MRS.

Materiał i metoda: 1H-MRS jest nieinwazyjną metodą umożliwiającą ocenę składu biochemicznego tkanek poprzez analizę wybranych metabolitów. W badaniach neuroobrazowych interpretacja widm 1H-MRS koncentruje się przede wszystkim na ocenie takich związków, jak: N-acetyloasparaginian (NAA), kreatyna (Cr), cholina (Cho), mio-inozytol (mIns) oraz kompleks glutaminian-glutamina (Glx). Badania spektroskopii rezonansu magnetycznego wykonano w Zakładzie Radiologii i Diagnostyki Obrazowej NIO-PIB Oddział w Gliwicach, z wykorzystaniem aparatów MR o indukcji pola 3 T. Dodatkowej analizie poddano widma, w których stwierdzono obecność dodatkowych, nietypowych sygnałów mogących mieć związek z przyjmowaniem suplementów diety.

Wyniki: W analizowanych widmach 1H-MRS stwierdzono obecność dodatkowego piku przy ok. 3,15 ppm, odpowiadającego metylosulfonylometanowi (MSM) występującemu w suplementach diety. Związek ten może przenikać przez barierę krew–mózg i gromadzić się w tkance mózgowej, generując silny sygnał w widmie spektroskopowym, który nakłada się na sygnał choliny, co utrudnia jej prawidłową ocenę ilościową.

Wnioski: Suplementy diety stanowią potencjalny czynnik wpływający na obraz widm uzyskiwanych metodą 1H-MRS i informacja o przyjmowanych suplementach powinna być uwzględniana podczas analizy i interpretacji wyników spektroskopii.

Obiektywizacja oceny rozdzielczości przestrzennej w ultrasonografii

Katarzyna Pasicz[1], Witold Skrzyński[1], Barbara Fijałka[1], Agnieszka Żyłka[2]

[1] Zakład Fizyki Medycznej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa;
[2] Klinika Endokrynologii Onkologicznej i Medycyny Nuklearnej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

Cel: Test polegający na ocenie rozdzielczości przestrzennej w ultrasonografii najczęściej polega na wzrokowej ocenie minimalnej odległości, przy której dwa obiekty są jeszcze od siebie rozróżnialne. Celem pracy jest przedstawienie sposobu wykonania testu rozdzielczości przestrzennej w ultrasonografii w zobiektywizowany sposób, poprzez ocenę szerokości połówkowej (*full width at half maximum*, FWHM) z użyciem programu ImageJ.

Materiał i metoda: W pracy wykorzystano fantom CIRS model 040GSE przeznaczony do kontroli jakości w ultrasonografii. Fantom zawiera m.in. struktury przeznaczone do wzrokowej oceny rozdzielczości przestrzennej w postaci grup włókien nylonowych o średnicy 80 mikrometrów rozmieszczonych w różnych odległościach od siebie na trzech różnych głębokościach od powierzchni fantomu (3 cm, 6,5 cm i 10,5 cm). Fantom zawiera także włókna nylonowe przeznaczone do pomiarów odległości poziomych i pionowych. Włókna te mają średnicę 100 mikrometrów i są rozmieszczone co 1 cm w kierunku pionowym (na głębokości od 1 do 16 cm) oraz w kierunku poziomym (na głębokości 4 cm co 1 cm, na głębokości 9 cm co 2 cm).

Zarejestrowano obrazy fantomu z użyciem aparatu ultrasonograficznego Philips Epiq 5G z sondą liniową el18-4. Obrazy wyeksportowano w postaci plików DICOM, a następnie analizowano z użyciem programu ImageJ. Proces analizy obejmował następujące kroki:

- ręczne zaznaczenie prostokątnego obszaru zainteresowania obejmującego wszystkie widoczne struktury do oceny odległości w kierunku pionowym;
– automatyczne zaznaczenie środków każdej ze struktur z wykorzystaniem funkcji „FindMaxima";
– automatyczne wyznaczenie FWHM każdej ze struktur w dwóch kierunkach, odpowiadających rozdzielczości osiowej i poprzecznej (z użyciem własnego makra programu ImageJ).

Wyniki programowej oceny FWHM struktur przeznaczonych do pomiarów odległości porównano z wynikami wzrokowej oceny rozdzielczości przestrzennej.

Wyniki: W wynikach wyrażonych przez FWHM widoczna jest zmienność rozdzielczości wraz z głębokością oraz efekt ogniskowania wiązki na określonej głębokości. Wyniki oceny FWHM dla struktur umieszczonych na głębokości zbliżonej do tej, na której znajdują się wzory do wzrokowej oceny rozdzielczości, są zbliżone do wyników wzrokowej oceny rozdzielczości.

Wnioski: Programowa analiza rozdzielczości przestrzennej poprzez wyznaczanie FWHM dla struktur oryginalnie przeznaczonych do oceny poprawności odległości pozwala na uniezależnienie wyników testu od subiektywnej oceny wzrokowej i ułatwia analizę zależności rozdzielczości od głębokości. Wydaje się, że odczyt FWHM powinien pozwolić na wykrycie mniejszych zmian rozdzielczości przestrzennej, niż ocena wzrokowa.

Mierniki DAP/KAP – czy możemy zrobić więcej w tym temacie w Polsce?

Piotr Jankowski[1], Sebastian Stambuła[2]

[1] Katowickie Centrum Onkologii, ul. Raciborska 26, 40-074 Katowice;
[2] Katowickie Centrum Onkologii, ul. Raciborska 26, 40-074 Katowice;
[2] Dział Fizyki Medycznej, Górnośląskie Centrum Medyczne im. prof. L. Gieca, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, ul. Ziołowa 45–47, 40-635 Katowice

Cel: Mierniki DAP/KAP stanowią coraz częstsze dodatkowe wyposażenie diagnostycznej aparatury rentgenowskiej oraz bardzo istotny element systemu monitorowania dawek otrzymywanych przez pacjentów. Ich wysoka integracja z aparatem oraz fakt stanowienia ww. elementu systemu uniemożliwiają sposobność klasycznego wzorcowania i/lub sprawdzenia w akredytowanych laboratoriach wzorcujących zdefiniowanych w normie ISO 17025.

Dodatkowo kwestia ich sprawdzeń/testowania nie znajduje dotychczas implementacji w polskiej legislacji. Powyższy temat znajduje swoje opisy w rekomendacjach Komisji Europejskiej (Raport nr 162) wydanych w roku 2012. W bieżącym roku rozpoczęły się prace nad aktualizacją ww. dokumentu.

Materiał i metoda: Uwzględniając również funkcjonowanie systemu akredytowanych laboratoriów badawczych oraz wzorcujących w tej dziedzinie w Polsce od 20 lat, należy się spodziewać kolejnego kroku w tym temacie. W obecnym momencie posiadamy wiele elementów umożliwiających stworzenie całościowego spójnego systemu akredytacji opartej na normie ISO 17025:2018 umożliwiającego wypełnienie luki w systemie monitorowania dawek promieniowania jonizującego otrzymywanych przez pacjentów w medycznych procedurach diagnostycznych.

Jednym z możliwych schematów mógłby wyglądać następująco:

1) W aspekcie spójności pomiarowej – Laboratoria Wzorców Wtórnych (Instytut Medycyny Pracy im. prof. dr. med. Jerzego Nofera w Łodzi i/lub Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej w Warszawie). Stanowić mogłoby krajowego dostawcę

usługi wzorcowania dla akredytowanych laboratoriów badawczych Wojewódzkich Stacji Sanitarno-Epidemiologicznych – akredytowanych (obecnie 12) w dziedzinie wykonywania badań fizycznych/testów specjalistycznych aparatury rentgenowskiej dysponujących poza wzorcowanymi miernikami (akredytacja na ISO 17025;2018) również zestawami referencyjnych mierników DAP/KAP DIAMENTOR firmy PTW-Freiburg. Wyżej wymienione laboratoria mogłyby stanowić regionalnych dostawców usług dla Jednostek Ochrony Zdrowia.

2) W aspekcie badań biegłości i porównawczych – o akredytowanego organizatora badań w oparciu o normę 17043 lub porównania międzylaboratoryjne w oparciu o odpowiednie dokumenty opracowane przez Polskie Centrum Akredytacji (PCA).

3) W aspekcie procedur badawczych – opierają się one na metodologiach funkcjonujących m.in. w Szwecji lub Finlandii (STUK). Są to metody streszczone w artykule zawartym w „Inżynierze i Fizyku Medycznym" 3/2013.

Wnioski: Wykorzystanie dotychczas funkcjonujących akredytowanych laboratoriów badawczych ma następujące zalety: dostęp do odpowiedniego wzorcowanego sprzętu, doświadczonego personelu oraz weryfikowanego i sprawdzanego systemu wymagającego tylko rozszerzenia posiadanej akredytacji o dodatkową metodę. W aspekcie Jednostek Ochrony Zdrowia posiadających aparaty rentgenowskie wyposażone w mierniki KAP/DAP pozwoli zyskać dodatkową możliwość sprawdzenia i niezależnej weryfikacji wskazań wyżej wymienionych.

Dla zaistnienia powyżej przedstawionego schematu wymagane jest oczywiście zaistnienie właściwych rozwiązań legislacyjnych dających podstawę do ekonomicznego uzasadnienia powstania tego spójnego systemu.

Akredytacja; kalibracja; sprawdzenie; procedura badawcza, ISO 17025; ISO 17043; EC RADIATION PROTECTION N° 162

Analiza dawek w ogólnodiagnostycznych procedurach radiologicznych – co możemy zrobić, kiedy w nagłówkach plików DICOM brakuje informacji o dawce?

Sebastian Stambuła[1], Joanna Golik-Paryż[2], Piotr Jankowski[3], Marcelina Elsner-Płomińska[4]

[1] Katowickie Centrum Onkologii, ul. Raciborska 26, 40-074 Katowice;
[2] Dział Fizyki Medycznej, Górnośląskie Centrum Medyczne im. prof. L. Gieca, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, ul. Ziołowa 45–47, 40-635 Katowice;
[2] Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy Oddział w Gliwicach, ul. Wybrzeże Armii Krajowej 15, 44-102 Gliwice;
[3] Katowickie Centrum Onkologii, ul. Raciborska 26, 40-074 Katowice;
[4] Laboratorium Pomiarów Radiologicznych GL Center Sp. z o.o., ul. Wspólna 1, 43-190 Mikołów

Cel: Analiza dawek promieniowania rentgenowskiego w procedurach radiologicznych wymaga nie tylko sprawdzeń, ale działań częstszych w postaci monitorowania. Wsparciem w tych działaniach są specjalistyczne systemy informatyczne pobierające informacje w postaci m.in. płci, nazwy procedury radiologicznej, kV, mAs, dawki wejściowej i DAP/KAP, zawartych w nagłówkach plików w formacie DICOM. W przypadku, gdy informacje o dawkach nie znajdują się tam, jednak dysponujemy informacjami o kV i mAs, ww. systemy mogą mieć poważny problem z wyznaczeniem odpowiednich wskaźników statystycznych (średnia, mediana czy 3. kwartyl). W szczególności, gdy w danej procedurze radiologicznej występuje więcej niż jedna wartość kV. Dodatkowo biorąc pod uwagę, że w większości pracowni wykonuje się szeroką gammę badań z wykorzystaniem kV w zakresie co najmniej 60–125, co stwarza potrzebę szybkiej transformacji kV i mAs na wartość kermy wejściowej. Z punktu roli fizyka medycznego w diagnostyce rentgenowskiej tego typu przeliczenie powinno określić również niepewność podawanej wartości.

Materiał i metoda: W celu dokonania przeliczenia wykonano pomiary dawki/kermy w funkcjach: a) kV dla stałych mAs oraz b) mAs dla przynajmniej jednych kV (najlepiej dla wartości zbliżonego do środka zakresu diagnostycznego. Dla pomiarów pierwszej funkcji wykonano pomiary w 7–8 punktach w skokach co 7–11 kV (o ile nie ma możliwości ustawić identycznych). W przypadku drugiej funkcji wykonano 6–7 pomiarów tak dobranych, by pokrywały cały zakres klinicznie wykorzystywanych mAs (2–3 z dolnego zakresu, 1 ze środka oraz 2–3 z góry zakresu). Zebrane dane są podstawą dla wyznaczenia liniowego trendu wraz z równaniem oraz współczynnikiem korelacji R^2. Następującą analizę wykonano dla 6 ogólnodiagnostycznych aparatów rentgenowskich (5 stacjonarnych i 1 przewoźnego). Dodatkowym i uzupełniającym pomiarem może być pomiar zależności dawki/kermy od pola promieniowania (3 różne pola z całego zakresu klinicznie wykorzystywanych) – wraz ze wzrostem wielkości pola wzrasta wartość dawki [dane z europejskiego projektu TraMeXI].

Wyniki: Z analizy uzyskano co najmniej 2 krzywe dopasowania dla każdego z aparatów. W przypadku pierwszej z funkcji R2 znajdował się w zakresie 0,9899–0,9999; dla drugiego w zakresie 0,9993–1,0000.

Wnioski:

1. Uzyskane krzywe mogą być użyte/zaimplementowane w systemach monitorujących wraz z określeniem niepewności pomiarowej. Ewentualnie można stworzyć formułę przeliczającą w arkuszu kalkulacyjnym dla danych „wyekstrachowanych" z nagłówków DICOM za pomocą np. makr w ImageJ lub DICOMViewer.

2. W celu uznania przedstawionej metody jako metody badawczej w rozumieniu normy ISO 17025 spełniony powinien być dodatkowo wymóg spójności pomiarowej, czyli zachowania nieprzerwanego łańcucha wzorcowań i kalibracji przyrządów pomiarowych.

Czy wartości szarości w stomatologicznym CBCT są porównywalne między aparatami? Badanie fantomowe z odniesieniem do klasycznej tomografii komputerowej

Agnieszka Szkudlarek[1], Karolina Jezierska[2]

[1] Katedra i Zakład Farmacji Fizycznej, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, ul. Jagiellońska 4, 41-200 Sosnowiec;
[2] Zakład Fizyki Medycznej, Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie, ul. Ku Słońcu 13, 71-073 Szczecin

Wstęp: W stomatologicznej tomografii stożkowej CBCT wartości liczbowe przypisane voxelom, określane dalej jako wartości szarości, nie muszą odpowiadać jednostkom Hounsfielda klasycznej tomografii komputerowej. Dodatkowo mogą one zależeć od konstrukcji aparatu, parametrów ekspozycji oraz algorytmu rekonstrukcji, co może ograniczać ich wykorzystanie w ilościowej ocenie gęstości tkanek.

Cel: Celem pracy była ocena zgodności wartości szarości uzyskiwanych za pomocą różnych aparatów CBCT stosowanych w stomatologii z wartościami referencyjnymi wyznaczonymi w klasycznej tomografii komputerowej oraz określenie, czy wielkość odchylenia zależy od zastosowanego aparatu i gęstości badanego materiału. Istotnym celem było również wskazanie ograniczeń związanych z ilościową interpretacją wartości prezentowanych jako jednostki Hounsfielda w stomatologicznym CBCT.

Materiał i metody: Badanie przeprowadzono z wykorzystaniem fantomu zawierającego 7 obiektów o różnych gęstościach. Każdy aparat CBCT wykorzystano do wykonania pojedynczego skanu fantomu. Dla każdego obiektu wyznaczono region zainteresowania na kilku odpowiadających sobie warstwach obrazu, a następnie obliczono średnią wartość szarości. Jako wartości referencyjne przyjęto wyniki uzyskane dla tych samych obiektów w klasycznej tomografii komputerowej. Dla każdego aparatu i obiektu obliczono błąd bezwzględny jako wartość bezwzględną różnicy pomiędzy wynikiem CBCT i CT. Różnice pomiędzy aparatami oceniono testem Friedmana, traktując obiekty o różnych gęstościach jako powiązane bloki. Wielkość efektu określono współczynnikiem zgodności Kendalla. Zależność pomiędzy referencyjną wartością HU w CT a błędem bezwzględnym oceniono za pomocą współczynnika korelacji rang Spearmana. Dodatkowo dla każdego aparatu obliczono średni błąd bezwzględny.

Wyniki: Test Friedmana wykazał istotne różnice w wartościach błędów bezwzględnych pomiędzy badanymi aparatami CBCT ($x^2(5) = 11,35$, $p = 0,045$). Wielkość efektu była umiarkowana ($W = 0,324$). Najmniejsze średnie błędy bezwzględne uzyskano dla aparatów 4 i 2, odpowiednio 46,07 i 46,10. Natomiast największą wartość stwierdzono dla aparatu 1 – 301,59. Najniższe średnie rangi uzyskano dla aparatów 2 i 4, natomiast najwyższe dla aparatów 6 i 1. Wielkość odchylenia od wartości referencyjnych była również związana z referencyjną wartością HU badanego obiektu, jednak zależność ta była istotna statystycznie jedynie dla aparatów 5 i 6.

Wnioski: Wielkość odchylenia wartości szarości CBCT od wartości referencyjnych uzyskanych w konwencjonalnej tomografii komputerowej różniła się istotnie między badanymi aparatami. Obserwowano również zróżnicowanie błędów w zależności od gęstości materiału obrazowanego. Wyniki wskazują, że wartości liczbowe prezentowane przez aparaty CBCT nie powinny być bezpośrednio interpretowane jako porównywalne jednostki Hounsfielda bez wcześniejszej walidacji dla konkretnego urządzenia i protokołu obrazowania. Porównywanie wartości uzyskanych za pomocą różnych aparatów CBCT może prowadzić do nieprawidłowych wniosków klinicznych.

Skuteczność systemów automatycznej kontroli ekspozycji (AEC) w mammografii: wpływ lokalnych zmian gęstości oraz obecności implantów piersi

Aleksandra Woźnica[1], Wojciech Ciszek[1], Mirosław Matkowski[1], Marek Kijonka[1], Łukasz Kapek[1], Joanna Prażmowska[1], Beata Niewiadomska[1], Bożena Woźniak[1], Adam Bekman[1], Jacek Wendykier[1], Andrzej Orlef[2]

[1] Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie, Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Gliwice;

[2] Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie, Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Gliwice

Wprowadzenie i cel: Systemy AEC zintegrowane z aparatami mammograficznymi dobierają parametry ekspozycji rentgenowskiej do budowy i rozmiaru piersi pacjentki. Ich celem jest uzyskanie wysokiej jakości obrazu (odpowiedniego SNR) przy jednoczesnym ograniczeniu dawki do najniższego możliwego poziomu. Niejednorodności w strukturze piersi, a zwłaszcza obszary lokalnych zagęszczeń tkanki gruczołowej – regiony o najwyższym osłabieniu promieniowania na obrazie – powinny determinować parametry ekspozycji dla procedury.

Badanie ma na celu określenie, w jaki sposób niejednorodności struktury tkanki gruczołowej oraz obecność implantów wpływają na zdolność systemu AEC do utrzymania optymalnych parametrów ekspozycji pozwalających na uzyskanie stabilnej wartości stosunku sygnału do szumu (SNR) w obszarach piersi o podwyższonej gęstości.

Materiał i metody: Testy lokalnego obszaru zagęszczenia (LDA – *Local Dense Area*) przeprowadzono na czterech aparatach mammograficznych: AMULET Sophinity (Fujifilm), Mammomat

Revelation (Siemens), Mammomat B.brilliant (Siemens) oraz Senographe Pristina (GE). Pomiary wykonano zgodnie z procedurą opisaną w suplemencie do czwartego wydania europejskich wytycznych EUREF.

Podstawowy protokół rozszerzono o trzy zmodyfikowane testy LDA:

– zmiany przestrzenne: przesunięcie płytek PMMA stanowiących dodatkowe osłabienie zarówno w kierunku bocznym, jak i osi od ściany klatki piersiowej do brodawki w obrębie klinicznego pola obrazowania,
– symulację implantu: zastosowanie różnych stopni pokrycia obszaru detektora materiałem odpowiadającym implantowi piersi,
– skalowanie grubości: wykonanie testów dla mniejszej i większej ekwiwalentnej grubości piersi.

W każdej konfiguracji zmierzono średnią dawkę gruczołową.

Wyniki: W większości testowanych scenariuszy systemy AEC utrzymywały stabilną wartość SNR w obszarach o podwyższonej gęstości tkanki gruczołowej. Stała jakość obrazu diagnostycznego została zachowana niezależnie od zmian przestrzennych płytek PMMA, stopnia pokrycia detektora przez symulowany implant oraz modyfikacji ekwiwalentnej grubości piersi.

Wnioski: Badanie potwierdza wysoką niezawodność algorytmów nadzorujących parametry ekspozycji w nowoczesnych aparatach mammograficznych.

Porównanie wpływu fizycznych i wirtualnych kratek przeciwrozproszeniowych na jakość obrazu i średnią dawkę gruczołową (MGD) w mammografii cyfrowej

Aleksandra Woźnica[1], Marek Kijonka[1], Wojciech Ciszek[1], Mirosław Matkowski[1], Łukasz Kapek[1], Joanna Prażmowska[1], Beata Niewiadomska[1], Bożena Woźniak[1], Adam Bekman[1], Jacek Wendykier[1], Andrzej Orlef[2]

[1] Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie, Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Gliwice;
[2] Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie, Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Gliwice

Wprowadzenie i cel: Techniki wirtualnej kratki przeciwrozproszeniowej stają się coraz powszechniejsze w obrazowaniu klinicznym. System PRIME (Progressive Reconstruction Intelligently Minimizing Exposure) firmy Siemens ma na celu zastąpienie fizycznych kratek przeciwrozproszeniowych w mammografii cyfrowej programowym odejmowaniem estymowanej komponenty promieniowania rozproszonego. W założeniu działanie to prowadzi do zmniejszenia dawki promieniowania przy jednoczesnym zachowaniu jakości obrazowania (wartości kontrastu do szumu – CNR).

Celem pracy jest ocena wpływu kratek fizycznych i wirtualnych na jakość obrazu oraz średnią dawkę gruczołową (MGD) w mammografii cyfrowej.

Materiał i metody: Eksperymenty przeprowadzono przy użyciu aparatów mammograficznych Mammomat Revelation oraz Mammomat B.brilliant. Jakość obrazu oceniano na podstawie stosunku kontrastu do szumu uzyskanego przy użyciu aluminiowego obiektu o grubości 0,2 mm umieszczonego pomiędzy płytami PMMA, które symulowały odpowiednie grubości piersi. Otrzymane wartości CNR skorygowano o wartość kontrastu progowego i porównano z europejskimi wytycznymi dotyczącymi badań przesiewowych (suplement do czwartego wydania europejskich wytycznych EUREF).

MGD obliczono przy użyciu formalizmu dozymetrycznego Dance'a zarówno dla ekspozycji z fizycznymi kratkami przeciwrozproszeniowymi, jak i bez nich.

Wyniki: W badaniu MGD wykazała dodatnią korelację z grubością piersi we wszystkich urządzeniach i technikach. Opcja PRIME pozwoliła na redukcję dawki (w porównaniu z klasycznym badaniem z wykorzystaniem kratki przeciwrozproszeniowej) o 16% przy grubości 20 mm w obu systemach. Redukcja wartości dawki malała wraz ze wzrostem grubości piersi. Przy górnych granicach grubości piersi, dla których stosowana jest technologia PRIME (70 mm dla Revelation; 40 mm dla B.brilliant), nie wykazano korzystnego zmniejszenia wartości MGD. Ponadto zaobserwowano niewielki spadek wartości CNR w całym zakresie badanych grubości piersi.

Wnioski: Kliniczne zalety techniki PRIME wydają się ograniczone w rutynowej mammografii. Wynika to z rzadkiego występowania piersi o grubości 20 mm w praktyce klinicznej oraz braku istotnej redukcji wartości dawki przy jej zastosowaniu dla większych grubości piersi.

Od kosteczek słuchowych do implantów: zastosowania photon-counting CT w obrazowaniu kości skroniowej

Joanna Wójcik[1]

[1] Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu

Tomografia komputerowa kości skroniowej odgrywa kluczową rolę w ocenie struktur ucha środkowego i wewnętrznego, diagnostyce pourazowej złamań kości skroniowej oraz kontroli pooperacyjnej, w tym po implantacji ślimakowej i zabiegach rekonstrukcyjnych ucha środkowego. Photon-counting CT (PCCT) jest technologią opartą na bezpośrednim zliczaniu fotonów promieniowania rentgenowskiego i pomiarze ich energii, co umożli-

wia uzyskiwanie obrazów o bardzo wysokiej rozdzielczości przestrzennej oraz informacji spektralnych.

Cel: Celem pracy jest przedstawienie potencjalnych zastosowań PCCT w obrazowaniu kości skroniowej, ze szczególnym uwzględnieniem oceny drobnych struktur anatomicznych ucha środkowego i wewnętrznego oraz kontroli pooperacyjnej.

Metoda: Kluczowym elementem tomografu PCCT jest detektor promieniowania rentgenowskiego wykonany z monokryształu CdTe (tellurek kadmu), który umożliwia zliczanie każdego fotonu wraz z informacją o energii kwantowej, co z kolei pozwala na podział widma wiązki promieniowania rentgenowskiego na kilka zakresów energetycznych. Morfologiczne przekroje uzyskane na obrazie osiągają rozdzielczość przestrzenną wynoszącą 0,11–0,178 mm, umożliwiając w ten sposób wizualizację mniejszych struktur, w tym kosteczek ucha środkowego oraz anatomii ucha wewnętrznego. W badaniach pooperacyjnych ocenia się położenie elektrody wraz z określeniem lokalizacji poszczególnych kontaktów, a przy operacjach ucha środkowego dokładne położenie wszczepionych implantów.

Wyniki: W porównaniu z konwencjonalną CT technologia PCCT umożliwia dokładniejsze uwidocznienie struktur kostnych kości skroniowej, poprawę kontrastu obrazu oraz potencjalne ograniczenie artefaktów, zwłaszcza w obecności elementów metalicznych. Dodatkową zaletą jest możliwość uzyskiwania danych spektralnych, w tym rekonstrukcji monoenergetycznych, które mogą wspierać ocenę pooperacyjną i różnicowanie patologii struktur kości skroniowych. Wysoka rozdzielczość przestrzenna PCCT ma szczególne znaczenie w ocenie anatomii ucha środkowego i wewnętrznego, kontroli po implantacji ślimakowej oraz planowaniu leczenia operacyjnego.

Wnioski: PCCT stanowi istotny etap rozwoju obrazowania kości skroniowej. Technologia ta zwiększa dokładność oceny drobnych struktur anatomicznych ucha oraz poprawia możliwości kontroli pooperacyjnej w otolaryngologii. Jej szczególna wartość dotyczy sytuacji wymagających bardzo wysokiej rozdzielczości przestrzennej, która jest niezbędna przy ocenie kosteczek słuchowych, ślimaka, przebiegu elektrody implantu ślimakowego czy położenia implantów ucha środkowego. PPCT otwiera nowe kierunki badań i zastosowań tej technologii w otolaryngologii, a tym samym pozwala na szybszą i dokładniejszą diagnostykę pacjentów z zaburzeniami słuchu.

E-POSTER: DOZYMETRIA I OCHRONA RADIOLOGICZNA

Ocena występowania artefaktów pierścieniowych w obrazowaniu kV-CBCT systemu Ethos HyperSight na podstawie analizy obrazów pacjentów oraz testów fantomowych

Beata Niewiadomska[1], Łukasz Kapek[1], Bożena Woźniak[1], Joanna Prażmowska[1], Adam Bekman[1], Marek Kijonka[1], Aleksandra Woźnica[1], Mirosław Matkowski[1], Wojciech Ciszek[1], Jacek Wendykier[1], Andrzej Orlef[1]

[1] Narodowy Instytut Onkologii im. M. Skłodowskiej-Curie w Gliwicach

Cel: System Varian Ethos v 1.1 (wersja 4.0) wykorzystuje zaawansowany technologicznie, płaski detektor HyperSight, oparty na scyntylatorze z jodku cezu (CsI). Nowoczesna konstrukcja sprzętowa w połączeniu z algorytmami rekonstrukcji iteracyjnej (iCBCT) pozwala na uzyskanie jakości obrazu porównywalnej z diagnostyczną tomografią komputerową. Stanowi to fundament procesów radioterapii adaptacyjnej on-line (oART). Wszelkie zniekształcenia obrazu obniżają dokładność oART, dlatego kluczowym zadaniem programów kontroli jakości (QA) jest ich skuteczna detekcja.

Celem niniejszej pracy była analiza problemu występowania artefaktów pierścieniowych zidentyfikowanych pierwotnie w badaniach pacjentów, a także weryfikacja zdolności detekcyjnej różnych fantomów oraz metod QA w zakresie wykrywania tego typu zaburzeń.

Materiały i metody: W ramach eksperymentu zrealizowano następujące kroki: 1. Ocena klinicznych skanów kV-CBCT pacjentów i ujawnienie występowania artefaktów pierścieniowych. 2. Analiza wyników miesięcznych testów QA obrazowania kV-CBCT wykonywanych przy użyciu dedykowanego fantomu Quart (weryfikacja stałości jednostek Hounsfielda, jednorodności, szumu, skalowania). 3. Testy porównawcze z użyciem fantomu Catphan 604 oraz obrazowanie antropomorficznego fantomu Alderson-Rando. 4. Przeprowadzenie przez autoryzowany serwis procedur kalibracji panelu detektora kV (procedury PVA w trybie Service Mode).

Do obrazowania wykorzystano platformę Varian Ethos HyperSight z protokołami Pelvis o różnych parametrach ekspozycji.

Wyniki: Analiza obrazów pacjentów wykazała obecność wyraźnych artefaktów pierścieniowych w rejonie miednicy mniejszej. Standardowa kontrola jakości z wykorzystaniem zalecanego przez producenta fantomu Quart nie wykazała żadnych nieprawidłowości. Podobnie testy z fantomem Catphan 604 nie ujawniły zniekształceń obrazu. Artefakty udało się uwidocznić i odtworzyć wyłącznie na fantomie antropomorficznym, który naśladuje anatomię człowieka. Serwisowa kalibracja całego detektora oraz inne działania konserwacyjne dały krótkotrwałą poprawę. Trwałą likwidację artefaktów i radykalną poprawę jakości obrazu osiągnięto dopiero po wymianie płaskiego detektora.

Wnioski: Występowanie artefaktów pierścieniowych na skanach kV-CBCT w systemie Ethos może utrudnić automatyczną segmentację narządów i fuzję deformacyjną, komplikując proces adaptacji planu on-line. Przeprowadzone analizy pokazują, że standardowe testy QA są nieskuteczne w detekcji tego typu zniekształceń. Uwidaczniają się one dopiero w warunkach odwzorowujących strukturę ludzkiego ciała, co wiąże się ze specyfiką rozproszenia promieniowania w tkankach. W związku z tym zasadne jest włączenie użycia fantomów antropomorficznych do okresowych protokołów kontroli jakości. Podkreślić należy także, że opisany przypadek obrazuje znaczenie interdyscyplinarnej współpracy elektroradiologów, fizyków medycznych, lekarzy oraz serwisu technicznego. Zintegrowane działanie całego zespołu oraz odpowiedni protokół QA umożliwiają sprawną identyfikację nietypowych zakłóceń sprzętowych oraz ich trwałe usunięcie z praktyki klinicznej.

Manual czy (semi)automat? Porównanie metod analizy testów jakości obrazowania kV CBCT

Łukasz Kapek[1], Beata Niewiadomska[1], Joanna Prażmowska[1], Mirosław Matkowski[1], Wojciech Ciszek[1], Bożena Woźniak[1], Aleksandra Woźnica[1], Adam Bekman[1], Jacek Wendykier[1], Marek Kijonka[1]

[1] Narodowy Instytut Onkologii im. M. Skłodowskiej-Curie w Gliwicach, Zakład Fizyki Medycznej

Cel: Kontrola jakości obrazowania kV CBCT jest niezbędnym elementem zapewnienia poprawności obrazowania w radioterapii. Testy jakości mogą być wykonywane metodami manualnymi lub z wykorzystaniem oprogramowania wspomagającego analizę obrazów. Celem pracy było porównanie czasu wykonania oraz wyników analizy testów jakości kV CBCT przeprowadzonych metodą manualną, z użyciem oprogramowania IQWorks oraz Pylinac.

Materiał i metody: Analizę przeprowadzono dla dwóch protokołów obrazowania kV CBCT (tryby head oraz pelvis), różniących

się napięciem lampy oraz obciążeniem czasowo-prądowym. Obrazy pozyskano na akceleratorach TrueBeam z wykorzystaniem fantomu CatPhan 604 oraz standardowego algorytmu rekonstrukcji. Ocenie poddano zniekształcenia geometryczne obrazu, stałość wartości jednostek HU dla wybranych materiałów, rozdzielczość przestrzenną wysoko- i niskokontrastową, jednorodność oraz szum obrazu. W przypadku oprogramowania Pylinac analiza po załadowaniu danych była w pełni zautomatyzowana. IQWorks wymagał udziału użytkownika na etapie wyboru odpowiednich obrazów do analizy, dlatego został zakwalifikowany jako rozwiązanie semi-automatyczne. Ocena rozdzielczości wysoko- i niskokontrastowej nie była możliwa w IQWorks i została wykonana metodą manualną.

Wyniki: Nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy wynikami uzyskanymi metodą manualną, z wykorzystaniem IQWorks oraz Pylinac. Średni czas wykonania pełnej analizy, uwzględniający transfer danych z serwera, wynosił około 10 minut dla metody manualnej, 6 minut dla IQWorks oraz 3 minuty dla Pylinac. Dodatkowo Pylinac umożliwiał automatyczne wyznaczenie funkcji MTF, wykorzystywanej do oceny rozdzielczości wysokokontrastowej oraz oceniał rozdzielczość niskokontrastową dla trybu pelvis.

Wnioski: Zastosowanie narzędzi wspomagających analizę testów jakości kV CBCT pozwala na znaczące skrócenie czasu kontroli jakości przy zachowaniu wyników porównywalnych z analizą manualną. Najwyższy stopień automatyzacji zapewnia Pylinac, który ogranicza udział użytkownika do minimum oraz zwiększa powtarzalność pomiarów. Automatyzacja procesu może usprawnić rutynową kontrolę jakości obrazowania kV CBCT w praktyce klinicznej.

Wysokoczęstotliwościowa analiza przebiegów dozymetrycznych promieniowania rozproszonego i wtórnego podczas pracy akceleratora medycznego

Michał Kuć[1], Piotr Tulik[1], Paweł Wołowiec[2], Joanna Stemplowska[2], Krzysztof Buliński[2]

[1] Politechnika Warszawska, Wydział Mechatroniki, Instytut Metrologii i Inżynierii Biomedycznej, Warszawa, Polska;
[2] Świętokrzyskie Centrum Onkologii, Zakład Fizyki Medycznej Kielce, Polska

Celem pracy było przedstawienie możliwości zastosowania rekombinacyjnych komór jonizacyjnych oraz nowych algorytmów akwizycji danych [1] do wysokoczęstotliwościowej analizy przebiegów czasowych pola promieniowania rozproszonego i wtórnego powstającego podczas pracy medycznego akceleratora liniowego. Szczególną uwagę zwrócono na ocenę zmienności sygnału w czasie pojedynczej ekspozycji, w tym w fazie uruchamiania wiązki oraz podczas realizacji rzeczywistych planów terapeutycznych. Badania ukierunkowano na rozszerzenie klasycznych pomiarów dozymetrycznych o analizę dynamiczną, istotną z punktu widzenia charakterystyki narażenia pacjenta i otoczenia terapeutycznego [2].

Pomiary przeprowadzono przy akceleratorach liniowych Elekta Versa HD w Świętokrzyskim Centrum Onkologii SPZOZ w Kielcach. Analizowano pola promieniowania w otoczeniu wiązki terapeutycznej dla wybranych konfiguracji pracy aparatu, obejmujących ekspozycje o zadanej liczbie jednostek monitorowych oraz realizację rzeczywistego planu terapeutycznego. Jako detektory zastosowano rekombinacyjną komorę jonizacyjną typu REM-2 oraz komorę jonizacyjną typu GW2 pełniącą funkcję monitora składowej fotonowej. Rejestrowano przebiegi ładunku i prądu jonizacji z wykorzystaniem opracowanych algorytmów szybkiej akwizycji danych. W zależności od konfiguracji pomiarowej odstęp czasowy między kolejnymi punktami pomiarowymi wynosił 60 ms lub 120 ms. Chwilowe wartości mocy dawki wyznaczano na podstawie numerycznej pochodnej czasowej zgromadzonego ładunku. Analiza obejmowała ocenę powtarzalności przebiegów, identyfikację stanów nieustalonych oraz porównanie odpowiedzi detektorów dla kolejnych realizacji ekspozycji.

Uzyskane przebiegi czasowe wykazały, że zastosowana metoda umożliwia obserwację krótkoczasowych zmian sygnału, niewidocznych w standardowych procedurach uśredniających wynik pomiaru w czasie całej ekspozycji. W pomiarach ekspozycji 50 MU zarejestrowano fazę dochodzenia układu do warunków ustalonych. W danych z jednej kampanii pomiarowej obserwowano początkowy przestrzał i oscylacyjny charakter zmian prądu jonizacji, interpretowany jako odpowiedź przejściową układu stabilizacji wiązki. W późniejszych pomiarach, wykonanych w zbliżonej konfiguracji, przebieg miał charakter monotonicznego dochodzenia do wartości ustalonej, bez wyraźnego przestrzału. W przypadku rzeczywistego planu terapeutycznego wykazano możliwość rejestracji czasowej struktury ekspozycji oraz porównania kolejnych realizacji tego samego łuku. Zaobserwowano różnice czasowe pomiędzy przebiegami, wskazujące na możliwość wykorzystania tej metody do oceny powtarzalności realizacji planu oraz zmian geometrii napromieniania wpływających na pole promieniowania rozproszonego.

Przedstawione wyniki potwierdzają, że rekombinacyjne komory jonizacyjne, połączone z szybką akwizycją ładunku i numerycznym przetwarzaniem danych, mogą być wykorzystane nie tylko do klasycznej dozymetrii pól mieszanych, lecz także do dynamicznej analizy przebiegu ekspozycji radioterapeutycznej. Metoda pozwala badać zmienność pola promieniowania rozproszonego i wtórnego w czasie pojedynczego napromieniania, identyfikować fazy nieustalone pracy akceleratora oraz analizować powtarzalność realizacji planów terapeutycznych. Może to stanowić uzupełnienie procedur kontroli jakości i pomiarów dozymetrycznych prowadzonych w otoczeniu wiązki, zwłaszcza w kontekście oceny narażenia pacjenta poza obszarem terapeutycznym oraz charakterystyki promieniowania wtórnego generowanego przez akcelerator medyczny.

[1] Kuć, M., Maciak, M. & Tulik, P. A Sub-Picoampere Measurement Algorithm for Use in Dosimetry of Time-Varying Radiation Fields. Sensors 24, 2012 (2024).
[2] Tulik, P. et al. Investigation of secondary mixed radiation field around a medical linear accelerator. Radiation Protection Dosimetry 180, 252–255 (2018).

Dozymetria żelowa 3D w weryfikacji SPL dla implantów o wysokim Zeff i walidacji izocentrum akceleratorów Elekta

Oskar Madetko[1], Bartłomiej Jasiak[2], Piotr Maras[3], Marek Kozicki[4]

[1] Katedra Informatyki, Akademia Tarnowska, Tarnów, Polska & Zakład Radioterapii, Szpital Wojewódzki im. św. Łukasza, Samodzielny Publiczny Zakład Opieki Zdrowotnej w Tarnowie, Tarnów, Polska;
[2] Zakład Radioterapii, Szpital Wojewódzki im. św. Łukasza, Samodzielny Publiczny Zakład Opieki Zdrowotnej w Tarnowie, Tarnów, Polska;
[3] Zakład Planowania Radioterapii, Wojewódzkie Wielospecjalistyczne Centrum Onkologii i Traumatologii im. M. Kopernika w Łodzi, Łódź, Polska & GeVero Co., Łódź, Polska;
[4] GeVero Co., Łódź, Polska & Katedra Inżynierii Mechanicznej, Informatyki Technicznej i Chemii Materiałów Polimerowych, Politechnika Łódzka, Łódź, Polska

Wstęp: Współczesna radioterapia wykorzystująca techniki dynamiczne (IMRT, VMAT) oraz stereotaktyczne (SRS, SBRT) umożliwia precyzyjne podanie dawki przy jednoczesnym ograniczeniu napromienienia tkanek zdrowych. Zapewnienie jakości leczenia wymaga kontroli działania aparatów terapeutycznych oraz weryfikacji obliczeń systemów planowania leczenia (SPL). Standardowe dozymetry, takie jak komory jonizacyjne, detektory półprzewodnikowe, TLD, filmy radiograficzne czy matryce 2D, nie pozwalają na pełną ocenę trójwymiarowego rozkładu dawki.

Dozymetry żelowe, o gęstościach zbliżonych do mięśni, płuc lub kości, umożliwiają objętościowy pomiar dawki z wysoką rozdzielczością [1]. Mogą być stosowane zarówno do testów eksploatacyjnych aparatów (ocena zgodności izocentrów: mechanicznego, promieniowania i obrazowania) [2], jak i do kompleksowej weryfikacji obliczeń SPL w testach typu „End-to-End".

Celem pracy jest ocena możliwości weryfikacji obliczeń SPL w warunkach obecności implantów o wysokiej wartości Zeff z wykorzystaniem trójwymiarowego dozymetru żelowego. Drugim celem jest walidacja metodologii pomiaru korelacji izocentrów oraz rozmiaru izocentrum promieniowania z użyciem obrazowania CBCT i dozymetru żelowego dla akceleratorów Elekta.

Materiały i metody: Pomiar rozkładu dawki wykonano w cylindrycznym fantomie (PH-5-DD1, GeVero Co., Polska) wypełnionym dozymetrem PABIG^{nx} [3, 4]. Do kalibracji oraz napromienienia fantomu z implantem tytanowym (Grade 5) zastosowano wiązkę fotonową X 6 MV generowaną przez akcelerator Elekta Versa HD (Elekta AB, Szwecja). Obrazowanie wykonano po 24 h rezonansem magnetycznym MR Intera (Philips Healthcare, Holandia) z użyciem sekwencji MESE (16 ech, TE = 25–400 ms, TR = 1000 ms, NEX = 2).

Kalibrację przeprowadzono metodą „wiązek krzyżowanych" w zakresie 2–27 Gy, wykorzystując pomiary komorą jonizacyjną i elektrometrem (Semiflex 3D, Unidos Romeo, PTW Freiburg, Niemcy). Rozkład dawki w fantomie z implantem obliczono w SPL Monaco v.6.2 (Elekta AB).

Test korelacji izocentrów wykonano z użyciem fantomów cylindrycznych (PH-5-DD1) wypełnionych dozymetrem 3D-po-gel-dos.1 (oba produkty, GeVero Co., Polska). Zastosowano obrazowanie CBCT (120 kV, protokoły Pelvis M20 HD i Pelvis M20) na akceleratorach Elekta Evo i Versa HD. Napromienienie wykonano układami pól typu „star-shot" (2D i 3D) wiązkami 10 MV FFF (2000 MU/min, pola 5 × 5 mm²). Fantomy obrazowano za pomocą CBCT oraz MR.

Obliczenia związane z kalibracją dozymetru, przeliczeniem zmierzonego sygnału R_2 na rozkład dawki, porównaniem z obliczonym rozkładem dawki oraz zgodności izocentrum promieniowania zostały wykonane w programach polyGeVero v.1.2 i polyGeVero -CT v.1.3 (GeVero Co., Polska).

Wyniki: Uzyskano liniową zależność sygnału R_2 od dawki w zakresie 2–16 Gy. Otrzymana zależność jest zgodna z opublikowanymi wynikami na temat charakterystyki dozymetru PABIG^{nx} [3, 4]. Trójwymiarowy rozkład dawki zmierzony w fantomie z implantem wykazał jakościową zgodność z rozkładem obliczonym w SPL. Analiza testu izocentrum wykazała bardzo dobrą zgodność wyników uzyskanych z CBCT i MR (< 0,15 mm). Algorytmy rekonstrukcyjne FDK zapewniły lepszą jakość obrazu niż algorytm iteracyjny.

Wnioski: Przedstawiona metoda pomiarowa umożliwia wiarygodny trójwymiarowy pomiar dawki także w obecności implantów o wysokiej liczbie Z. Standardowe protokoły obrazowania oparte na algorytmach rekonstrukcji FDK (M20-High_Res oraz M20-Med_Res) pozwalają na wykorzystanie obrazowania CBCT na aparacie Elekta do przeprowadzenia testu kontroli izocentrum promieniowania.

Literatura:

[1] De Deene Y. Gels, 8(9), 2022, 599;
[2] Maras P. i Kozicki M. Materials (2022), 15, 6807;
[3] Kozicki M., Maras P., Karwowski A.C. Phys. Med. Biol. (2014), 59, 4111-4136;
[4] Kozicki M., Jaszczak M., Maras P. Materials (2022), 15, 2550

Podziękowania: O.M. dziękuje firmie Elekta Polska za wsparcie badań. Prace częściowo sfinansowano z projektu badawczego (Grant nr BAD-07/2026, Akademia Tarnowska).

Projekt, wykonanie i walidacja wkładki dozymetrycznej do fantomu Dynamic Thorax Phantom, przeznaczonej do weryfikacji stereotaktycznych planów leczenia z wykorzystaniem detektorów MCP-N

Katarzyna Matusiak[1], Zuzanna Rewińska[1], Barbara Wojtas[2], Aleksandra Jung[1], Aneta Dąbrowska[2], Sylwia Pysklak[2], Krzysztof Czaja[2]

[1] AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;
[2] Amethyst Radiotherapy Poland sp. z o.o., ul. Złotej Jesieni 1, 31-826 Kraków

Dokładna weryfikacja rozkładu dawki jest jednym z kluczowych elementów zapewnienia bezpieczeństwa i skuteczności radioterapii stereotaktycznej (SRT), szczególnie w leczeniu nowotworów płuc, gdzie ruchomość oddechowa może istotnie wpływać na dokładność dostarczania dawki. W radioterapii 4D niezbędne jest stosowanie narzędzi umożliwiających dozymetryczną ocenę planów leczenia w warunkach dynamicznych. Fantom Dynamic Thorax Phantom (Model 008A, CIRS) jest powszechnie wykorzystywany do symulacji ruchu oddechowego, jednak jego standardowe wyposażenie nie obejmuje wkładki przeznaczonej do pomiarów z wykorzystaniem detektorów termoluminescencyjnych (TLD). Celem pracy było zaprojektowanie, wykonanie oraz walidacja autorskiej wkładki dozymetrycznej umożliwiającej stabilne i powtarzalne pozycjonowanie detektorów TLD wewnątrz fantomu oraz ocenę możliwości jej wykorzystania do eksperymentalnej weryfikacji stereotaktycznych planów leczenia.

W pierwszym etapie przeprowadzono analizę materiałów przeznaczonych do budowy wkładki. Na podstawie badań tomograficznych wykonanych na symulatorze TK Philips Big Bore oraz analizy gęstości w systemie planowania leczenia Pinnacle wytypowano korek aglomerowany jako materiał najlepiej odpowiadający gęstości płucnej części fantomu. Następnie wykonano wkładkę o geometrii odpowiadającej komercyjnie dostępnym elementom do obrazowania guzów, wyposażoną w dziewięć otworów umożliwiających stabilne i powtarzalne pozycjonowanie detektorów TLD.

W badaniach wykorzystano termoluminescencyjne LiF:Mg,-Cu,P (typ MCP-N). Przed rozpoczęciem pomiarów wyznaczono ich indywidualne współczynniki czułości oraz przeprowadzono kalibrację umożliwiającą oszacowanie dawki na podstawie sygnału termoluminescencyjnego. Odczyt sygnału przeprowadzono z wykorzystaniem czytników RA'04 oraz Lexsyg Research TL/OSL.

W kolejnym etapie wykonano pomiary w fantomie Dynamic Thorax Phantom dla planów realizowanych w warunkach statycznych oraz stereotaktycznego planu IMRT realizowanego w warunkach symulowanego ruchu oddechowego. Poprawność realizacji planu zweryfikowano dodatkowo z wykorzystaniem fantomu ArcCheck metodą gamma (2%/2 mm), uzyskując wynik 98,5%. Następnie przygotowano osiemnaście stereotaktycznych planów leczenia zmian płucnych realizowanych technikami VMAT i IMRT dla guzów o średnicach 1, 2 i 3 cm. Przed napromienieniem detektorów MCP-N przeprowadzono weryfikację dozymetryczną planów z wykorzystaniem fantomu OCTAVIUS 4D wyposażonego w matrycę detektorów SRS1000 w celu oceny dokładności geometrycznej i dozymetrycznej realizacji planów leczenia na medycznym akceleratorze liniowym.

Opracowana wkładka umożliwiła precyzyjne i stabilne rozmieszczenie detektorów wewnątrz fantomu oraz realizację pomiarów dozymetrycznych zarówno w warunkach statycznych, jak i dynamicznych. Najlepszą zgodność pomiędzy dawkami zmierzonymi a wartościami obliczonymi przez system planowania leczenia (SPL) uzyskano dla dawki frakcyjnej 5 Gy. W pomiarach dynamicznych większość punktów pomiarowych wykazała zgodność z wartościami referencyjnymi w granicach niepewności pomiarowej. W analizowanych przypadkach plany VMAT charakteryzowały się lepszą zgodnością wyników pomiarowych z wartościami obliczonymi przez SPL niż plany IMRT.

Uzyskane wyniki potwierdzają przydatność opracowanej wkładki dozymetrycznej do eksperymentalnej weryfikacji planów leczenia realizowanych z uwzględnieniem ruchomości oddechowej. Zaproponowane rozwiązanie rozszerza funkcjonalność fantomu Dynamic Thorax Phantom, umożliwiając bezpośredni pomiar dawki z wykorzystaniem detektorów MCP-N. W przyszłości może ono znaleźć zastosowanie w klinicznej kontroli jakości procedur radioterapii 4D i radioterapii stereotaktycznej.

Wzorzec pierwotny dawki pochłoniętej w wodzie dla wiązek fotonów 6, 10 i 15 MV – walidacja metrologiczna

Weronika Niedziałek[1], Piotr Tulik[2], Paweł Wołowiec[3]

[1] Główny Urząd Miar;
[2] Politechnika Warszawska;
[3] Świętokrzyskie Centrum Onkologii

Cel: Metody pierwotne odtworzenia dawki pochłoniętej w wodzie: chemiczna, jonometryczna oraz kalorymetryczna są podstawą opracowywania przez narodowe instytucje metrologiczne wzorców pierwotnych, używanych do wzorcowania dawkomierzy klinicznych. W zakresie wiązek stosowanych w radioterapii dominują wzorce kalorymetryczne. Dodatkowym wymaganiem z racji na rozwój nowych urządzeń i modalności leczenia jest mobilność wzorców, umożliwiająca bezpośrednie wzorcowanie dawkomierzy w wiązkach terapeutycznych. Celem

pracy było opracowanie, scharakteryzowanie oraz walidacja mobilnego wzorca kalorymetrycznego.

Materiał i metoda: Kalorymetria grafitowa, z uwagi na akceptowalny czas stabilizacji w warunkach pozalaboratoryjnych, została wybrana jako metoda odtworzenia dawki pochłoniętej w wodzie. Wykorzystany w układzie wzorca tryb quasi-adiabatyczny polegał na pomiarze wzrostu temperatury cienkiego rdzenia grafitowego pod wpływem napromienienia. Przeliczenie dawki pochłoniętej w graficie na dawkę pochłoniętą w wodzie wymagało wykonania szeregu symulacji Monte Carlo oraz analizy metodą elementów skończonych do oceny strat związanych z transportem cieplnym. Po wyznaczeniu wymaganych współczynników korekcyjnych i przeliczeniowych oraz wyznaczeniu ciepła właściwego rdzenia grafitowego w funkcji temperatury, kalorymetr poddano walidacji. Wzorzec kalorymetryczny porównano z jonometrycznym wzorcem dawki pochłoniętej w wodzie dla referencyjnej wiązki promieniowania źródła ^{60}Co. Następnie kalorymetr wraz z systemem pomiarowym porównano ze wzorcem kalorymetrycznym Międzynarodowego Biura Miar i Wag (BIPM). Porównanie odbyło się w ramach porównań kluczowych BIPM.RI(I)-K6, które po raz pierwszy przeprowadzono w ośrodku klinicznym. Wzorcowane były dwie komory jonizacyjne typu Farmer PTW 30013 w wiązkach fotonowych o potencjałach przyspieszających 6, 10 i 15 MV wytwarzanych przez medyczny akcelerator liniowy Elekta Versa HD. Dodatkowo zastosowano komorę monitorującą Semiflex PTW 31010 umieszczoną w rogu pola promieniowania 10 cm × 10 cm w celu kompensacji niestabilności pracy akceleratora.

Wyniki: Oba porównania – ze wzorcem jonometrycznym dla referencyjnej wiązki promieniowania źródła ^{60}Co oraz ze wzorcem kalorymetrycznym BIPM dla konwencjonalnych wiązek fotonowych stosowanych w teleradioterapii wykazały metrologiczną zgodność wzorców. Różnica odtworzenia dawki pochłoniętej w wodzie między wzorcem kalorymetrycznym a jonometrycznym w wiązce referencyjnej wynosiła 0,40%. W przypadku porównań BIPM.RI(I)-K6 średnie stosunki współczynników wzorcowania komór jonizacyjnych wynosiły odpowiednio: 1,0040; 1,0037 oraz 1,0011 dla wiązek fotonów 6, 10 i 15 MV. Niepewność standardowa wynikająca z zastosowania komór transferowych wynosiła 0,02%, przy całkowitej standardowej niepewności porównania wynoszącej 0,64%. Wzorcowanie dawkomierza bezpośrednio w wiązkach klinicznych eliminuje potrzebę stosowania współczynnika poprawkowego na jakość wiązki k_Q, tym samym obniżając niepewność odtworzenia dawki pochłoniętej o tą składową niepewności.

Wnioski: Opracowano kalorymetryczny wzorzec dawki pochłoniętej w wodzie dla terapeutycznych wiązek fotonów. Mobilność wzorca i systemu pomiarowego umożliwiły jego zastosowanie w warunkach klinicznych – poza siedzibą laboratorium wzorcującego. Uzyskana zgodność porównań potwierdza przydatność wzorca do realizacji spójności pomiarowej. Wzorcowanie bezpośrednie, mimo większych wymagań logistycznych, pozwala na obniżenie niepewności odtworzenia dawki. Metoda ta może stanowić alternatywę dla wzorcowania w wiązce referencyjnej w kontekście ograniczonej dostępności źródeł kobaltowych. Opracowany wzorzec i metodyka wzorcowania stwarzają możliwość rozszerzenia zastosowań na inne jakości wiązek, np. protonowe, oraz na nowe modalności i techniki leczenia, takie jak radioterapia FLASH, IORT.

Implementacja testu Accuray E2E Synchrony QA aparatu CyberKnife na platformę Radixact

Joanna Prażmowska[1], Beata Niewiadomska[1], Łukasz Dolla[1], Aleksandra Woźnica[1], Marek Kijonka[1], Łukasz Kapek[1], Bożena Woźniak[1], Adam Bekman[1], Wojciech Ciszek[1], Jacek Wendykier[1], Maria Sokół[1]

[1] Narodowy Instytut Onkologii im. M. Skłodowskiej-Curie w Gliwicach

Cel: Raport AAPM TG 306, definiujący standardy kontroli jakości aparatów do tomoterapii, rekomenduje wdrożenie procesu walidacji typu End-to-End (E2E) każdej klinicznie używanej metody radioterapii pacjenta – zarówno opartej o weryfikowanie położenia zaimplementowanych znaczników (Fiducial Tracking), jak i śledzenia przemieszczania się guza w trakcie ruchów oddechowych (Respiratory Tracking).

Celem niniejszej pracy było porównanie geometrycznej dokładności podania dawki podczas napromieniania obiektu statycznego oraz obiektu symulującego nieregularne przesunięcia, odpowiadające przemieszczaniu się prostaty w ciele pacjenta w trakcie podawanej frakcji dla modułu Synchrony Fiducial Tracking.

Materiał i metody: Procedurę E2E zrealizowano dla systemu Accuray Radixact (Accuray Inc., Sunnyvale, CA, USA) w oparciu o protokół Synchrony QA, zaadaptowany według wytycznych zalecanych dla aparatu CyberKnife (Accuray Inc., Sunnyvale, CA, USA). Tomografia komputerowa będąca podstawą planowania leczenia została wykonana dla fantomu Ball Cube II wraz z nakładką Ball Cube Dome ułożonych na środku platformy CIRS Dynamic Platform (SunNuclear Corporation, Melbourne, FL, USA). Wewnątrz fantomu ortogonalnie umieszczono dedykowane filmy typu Gafchromic EBT4 (Ashland, Wilmington, DE, USA). Plan leczenia został przygotowany tak, aby zadana dawka obejmowała jednorodnie akrylową kulę o średnicy 19 mm, zlokalizowaną w geometrycznym centrum fantomu. Napromienianie targetu odbywało się dla dwóch przypadków: nieruchomej platformy oraz przesunięć zasymulowanych poprzez wprowadzenie do sterownika platformy krzywych odpowiadających nieregularnym ruchom prostaty o amplitudzie przemieszczenia 5 mm w osi podłużnej (HF, IEC Y). Weryfikacja i korekcja ułożenia Ball Cube II zakładała śledzenie w trybie rzeczywistym 4 znaczników na podstawie zdjęć planarnych w trybie Pelvis (XL) wiązką o parametrach 140 kV i 2.56 mAs. Procedura polegała na ocenie dokładności geometrycznej zrealizowanego planu poprzez wyznaczenie różnic w rzeczywistym położeniu napromienianego obszaru (filmu dozymetrycznego) względem targetu (kuli)

w kierunkach Anterior/Superior (A/S) oraz Anterior/Left (A/L). Obliczenie błędów geometrycznych w poszczególnych kierunkach na napromienianych filmach zostało wykonane w programie Accuray *End-to-End Test* dostarczonym przez producenta aparatu CyberKnife.

Wyniki: Analiza poszczególnych składowych błędu wykazała, że największe różnice geometrycznego dostarczenia dawki stwierdzono dla obu przypadków w kierunku A/L. Total Targeting Error, będący pierwiastkiem kwadratowym sumy kwadratów różnic położeń w kierunkach A/S i A/L, wynosił odpowiednio 0.39 mm dla nieruchomego fantomu oraz 0.52 mm dla zasymulowanych ruchów platformy. Dokładność metody szacowana przez producenta wynosiła ± 0.3 mm.

Wnioski: Test typu E2E wykazał wysoką precyzję systemu Radixact Synchrony z geometrycznymi błędami podania dawki poniżej 1 mm w warunkach dynamicznych. Wyniki potwierdzają skuteczność śledzenia ruchu dla metody Synchrony Fiducial Tracking i umożliwiają wprowadzenie procedury do programu rutynowej kontroli jakości zgodnie z wytycznymi międzynarodowych raportów dozymetrycznych.

Dozymetria tranzytowa in vivo z wykorzystaniem systemu EPIgray (Elekta) – analiza dawek w punktach w warunkach fantomowych

Oliwia Nowotka[1], Anna Kociemba[2], Justyna Krupka[2], Agata Lewandowska[2], Łukasz Szczurek[2], Maksymilian Kazior[2], Maciej Kozak[3]

[1] Międzynarodowe Centrum Onkologii Affidea; Zakład Fizyki Biomedycznej, Wydział Fizyki i Astronomii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu;
[2] Międzynarodowe Centrum Onkologii Affidea;
[3] Zakład Fizyki Biomedycznej, Wydział Fizyki i Astronomii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Cel: Weryfikacja dawki dostarczanej pacjentowi podczas radioterapii stanowi kluczowy element systemu zapewnienia jakości, mający na celu potwierdzenie zgodności realizowanego leczenia z założeniami planu terapeutycznego. Coraz większe zastosowanie znajdują systemy wykorzystujące dozymetrię portalową, umożliwiające rekonstrukcję i ocenę rozkładu dawki podczas napromieniania. Celem pracy była analiza i porównanie dawek w punkcie uzyskanych w systemie EPIgray w warunkach fantomowych oraz dawek zmierzonych za pomocą detektora diamentowego do dawek wyliczonych w systemie planowania leczenia (TPS) Monaco (Elekta).

Materiały i metody: Analizie poddano 10 planów leczenia pacjentów z rozpoznaniem nowotworu gruczołu krokowego, wykonanych w technice VMAT z użyciem wiązek (360) 6MV FFF. Plany zostały przeliczone na geometrię fantomu Ruby (PTW Freiburg) oraz została wyznaczona dawka w punkcie izocentrycznym fantomu. Wszystkie plany zostały zrealizowane z wykorzystaniem akceleratora Elekta EVO. Podczas realizacji każdego planu leczenia rejestrowano obrazy za pomocą panelu EPID oraz dawkę w punkcie izocentrycznym fantomu za pomocą detektora diamentowego (PTW Freiburg). Następnie powtórzono pomiary po umieszczeniu na powierzchni fantomu bolusa żelowego o gęstości zbliżonej do wody o grubości 0,5 cm oraz 1,0 cm, symulując zmianę warunków anatomicznych pacjenta. Dla każdego wariantu ponownie wykonano rejestrację danych portalowych oraz pomiar dawki w izocentrum. Na podstawie uzyskanych obrazów przeliczono dawki w systemie EPIgray w izocentrum oraz w 50 punktach automatycznie wygenerowanych przez EPIgray w obszarze targetu. Następnie porównano wszystkie dawki w punkcie.

Wyniki: Pomiary wykonane z wykorzystaniem detektora diamentowego wykazały wysoką zgodność dawki w izocentrum z systemem planowania leczenia (0,6% ± 0,37%). Porównanie dawki w izocentrum przeliczonej w systemie EPIgray do dawki z TPS wynosiło średnio 3,9% (±1,58%), co spełnia kryterium tolerancji 5%, rekomendowane przez producenta. Różnice dawek w izocentrum wyznaczone przez EPIgray dla fantomu z bolusem 0,5 cm oraz 1,0 cm w stosunku do fantomu bez bolusa wynosiły odpowiednio 1,82% (±0,88) oraz 3,51% (±1,40). Różnice dla przeliczonych przez EPIgray 50 punktów w obszarze targetu dla fantomu z bolusem 0,5 cm oraz 1,0 cm w stosunku do fantomu bez bolusa wynosiły 3,44% (±1,08) oraz 6,8% (±3,10).

Wnioski: System EPIgray, wykorzystujący rekonstrukcję dawki na podstawie dozymetrii portalowej, umożliwia jednoczesną analizę wielu punktów w obrębie objętości tarczowej, zapewniając bardziej kompleksową ocenę poprawności dostarczenia dawki. Uzyskane wyniki wskazują na większą czułość systemu na detekcję zmian warunków napromieniania w objętości targetu niż wynik punktowej dawki w izocentrum zrekonstruowanej w EPIgray. Zastosowanie tego typu rozwiązań oraz kompleksowa analiza otrzymanych wyników w EPIgray może zwiększyć skuteczność monitorowania realizacji radioterapii oraz stanowić wartościowe narzędzie wspierające rozwój procedur dozymetrii *in vivo*.

Porównanie trzech metod weryfikacji planów SBRT realizowanych na MR-Linac'u Unity – doświadczenia własne

Agnieszka Orzechowska[1], Sebastian Maleszka[1], Janusz Winiecki[2]

[1] Zakład Fizyki Medycznej, Centrum Onkologii im. prof. F. Łukaszczyka w Bydgoszczy;
[2] Zakład Fizyki Medycznej, Centrum Onkologii im. prof. F. Łukaszczyka w Bydgoszczy oraz Collegium Medicum im. L. Rydygiera, UMK w Bydgoszczy

Cel: Celem niniejszej pracy jest omówienie wyników różnych metod weryfikacji planów SBRT realizowanych na MR-Linac'u. Dysponując kilkoma metodami dozymetrycznymi, staraliśmy się wskazać najbardziej odpowiednią.

Materiały i metody: Magnetic Resonance-Guided Radiotherapy (MRgRth) jest radioterapią adaptacyjną, w której napromienianie pacjenta jest kontrolowane w czasie rzeczywistym obrazowaniem MR. Weryfikujemy plan referencyjny przed pierwszą frakcją pacjenta. Unity jest wyposażony w detektor portalowy MV Imaging Controller – MVIC, ale służy on jedynie do pozycjonowania fantomów, detektorów, nie ma opcji dozymetrii portalowej. Plany adaptacyjne są oceniane przy użyciu algorytmu ThinkQA v.2.0 Secondary Dose Check (DOSIsoft, France).

Podstawowym narzędziem do weryfikacji planów realizowanych na MR-Linac'u jest ArcCheck MR (Sun Nuclear Inc., Melbourne, USA) dostosowany do pracy w polu magnetycznym. Zweryfikowaliśmy dotychczas około 500 planów leczenia. Około 60% planów jest realizowanych techniką SBRT, przerzuty do wątroby, węzłów chłonnych. Dla małych pól SRS parametry ArcChecka mogą być niewystarczające i z tego powodu rozważyliśmy pomiar dawki komorą jonizacyjną i filmem dozymetrycznym.

Kryterium poprawności to indeks gammy globalnej powyżej 95% dla dose-difference 2% oraz distance-to-agreement 2 mm. W przypadku negatywnego wyniku po zmianie geometrii plan jest reoptymalizowany. Ustalanie geometrii wiązek jest utrudnione ze względu na konstrukcję MR-Linac'a. Kąty głowicy z zakresu 8°–20° są zablokowane, wiązki nie mogą przechodzić przez przewody łączące części magnesu. Nad napromienianym pacjentem umieszczana jest cewka nadawczo-odbiorcza, mocowana w ruchomej ramie. Druga, tylna cewka zamontowana jest pod powierzchnią stołu terapeutycznego.

Do analizy wybrano plany z dawką terapeutyczną na obszar PTV w granicach 15–38 Gy. Plany były weryfikowane za pomocą ArcChecka MR. Następnie stosowano fantom Ruby (PTW Freiburg, Germany) z insertami FilmQA i PatientQA. Użyto filmów Gafchromic EBT-XD (Ashland, Bridgewater, USA) oraz skalibrowanej komory jonizacyjnej PinPoint 3d MR (PTW, Freiburg, Germany). Plany referencyjne zostały przeniesione na skany CT fantomu Ruby i przekalkulowane w SPL Monaco v.6.2 (Elekta AB, Stockholm, Sweden) algorytmem Monte Carlo GPUMCD z siatką obliczeniową 1 mm.

Wyniki: Prezentujemy przykładowe wyniki weryfikacji dozymetrycznej planu SBRT, w którym na obszar PTV zaplanowano dawkę 30 Gy.

Plany zmierzone ArcCheckiem zostały przeanalizowane w programie SNC Patient v.8.6 (Sun Nuclear Inc., Melbourne, USA). Każde z 9 pól zweryfikowano niezależnie, indeks gammy wynosił 96–100%. Do rekonstrukcji dawki z filmu użyto krzywej kalibracyjnej wyznaczonej na Unity. Różnica w dawce w płaszczyźnie izocentrum wynosiła maksymalnie +2%. Detektorem PinPoint 3d MR zmierzono dawkę 38,8 Gy, różniła się od oczekiwanej o -1,6%.

Wnioski: Przedstawione powyżej metody wydają się wzajemnie uzupełniać, każda z nich ma swoje zalety i wady.

Detektory w ArcChecku są rozmieszczone na spirali. Mierzą dawkę wejściową i wyjściową, co w praktyce podwaja ich gęstość w polu promieniowania. Jednak dla małych pól odległości między detektorami mogą być zbyt duże.

W przypadku fantomu Ruby konieczne jest przygotowywanie indywidualnego modelu. Objętość fantomu musi być zdefiniowana względem izocentrum akceleratora tak, aby komora jonizacyjna lub film znalazły się w obszarze wysokiej dawki. Manipulowanie fantomem Ruby jest łatwiejsze, a jego rozmiar pozwala na większy zakres zmiany położenia. Detektor PinPoint 3d może być używany do pomiaru dawki dla pól 2 × 2 cm². Wyniki dla każdej wiązki niezależnie są natychmiastowe. Rekonstrukcja dawki z filmu jest najbardziej czasochłonna. Uzyskanie rozkładu dawki wymaga szeregu czynności i jest przyczyną, dla której wszystkie pola napromieniane są na jednym fragmencie. Otrzymujemy informację nie tylko o zgodności dawki w obszarze PTV, ale również o gradiencie dawki poza nim.

Kliniczne wdrożenie fantomu Ruby do dozymetrycznej weryfikacji planów leczenia w radioterapii oraz kontroli systemów obrazowania akceleratorów liniowych

Damian Roczkowski[1], Tomasz Surowiak[1]

[1] Affidea NU-MED Centrum Diagnostyki i Terapii Onkologicznej Zamość

Wprowadzenie: Nowoczesne techniki radioterapii wymagają wysokiej dokładności przestrzennej i precyzji, aby zagwarantować bezpieczne i skuteczne leczenie pacjenta. Wymaga to zaawansowanej technologii oraz rygorystycznych procesów zapewnienia jakości (QA). Fantom Ruby wraz z dedykowanymi wkładkami umożliwia symulację złożonych scenariuszy klinicznych, umożliwiając sprawne, kompleksowe testowanie systemów obrazowania oraz weryfikację dawki.

Cel: Celem była ocena klinicznego wdrożenia fantomu Ruby do rutynowej kontroli dozymetrycznej planów leczenia przygotowanych w technikach VMAT oraz SRS w Zakładzie Radioterapii Affidea NU-MED CDiTO Zamość.

Materiał i metody: Wykonano serię pomiarów dozymetrycznych z wykorzystaniem fantomu Ruby z dedykowanymi modułami dla dwóch nowo zainstalowanych akceleratorów TrueBeam firmy Varian dla energii X6, X15, X6FFF oraz X10FFF. Obejmowały one kontrolę dokładności systemu obrazowania, testy end-to-end i weryfikację dawki w punkcie dla planów leczenia przygotowanych w systemie planowania Eclipse TPS (v18.1) przy użyciu algorytmu obliczeniowego Acuros. Do wszystkich weryfikacji dozymetrycznych użyto komory jonizacyjnej PTW Semiflex 3D 0.07 cm^3.

Wyniki: Wyniki kontroli systemów obrazowania kV/MV oraz CBCT wykazały zgodność w tolerancji wynikającej z przepisów prawnych. Pomiary dawki punktowej dla planów przygotowanych w technice VMAT i SRS wykazały zgodność w zakresie ± 3%.

Wnioski: Testy wykonane z użyciem fantom Ruby wykazał zgodność w zakresie przyjętych tolerancji. Fantom Ruby to idealne narzędzie do rutynowej, kompleksowej kontroli dozymetrycznej w nowoczesnej i precyzyjnej radioterapii.

Zabezpieczenie źródeł promieniotwórczych w działalności medycznej – aspekty prawne, poziomy zagrożeń oraz metody ochrony

Marta Rowińska[1], Stanisław Rachwał[2], Piotr Robakowski[3]

[1] Politechnika Gdańska, Uniwersyteckie Centrum Kliniczne;
[2] MERK Sp. z o.o.;
[3] Gdański Uniwersytet Medyczny

Wykorzystanie źródeł promieniotwórczych w diagnostyce i terapii medycznej stanowi nieodłączny element współczesnej ochrony zdrowia. Rozwój medycyny nuklearnej, brachyterapii oraz innych procedur wykorzystujących zamknięte źródła promieniotwórcze przyczynia się do poprawy skuteczności diagnostyki i leczenia, jednocześnie stawiając wysokie wymagania w zakresie bezpieczeństwa radiologicznego i ochrony fizycznej źródeł. Szczególne znaczenie mają źródła wysokoaktywne (High Activity Sealed Sources – HASS), których niewłaściwe wykorzystanie, utrata kontroli lub nieuprawniony dostęp mogą prowadzić do poważnych konsekwencji zdrowotnych, organizacyjnych oraz społecznych.

Celem prezentacji jest przedstawienie aktualnych wymagań dotyczących zabezpieczenia źródeł promieniotwórczych stosowanych w działalności medycznej z uwzględnieniem obowiązujących regulacji prawnych, klasyfikacji poziomów zagrożeń oraz praktycznych rozwiązań organizacyjnych i technicznych stosowanych w jednostkach ochrony zdrowia.

W Polsce opieramy się na krajowych i międzynarodowych podstawach prawnych regulujących bezpieczne stosowanie źródeł promieniotwórczych, w szczególności przepisy ustawy – Prawo atomowe, akty wykonawcze Ministra Zdrowia oraz wymagania wynikające z dyrektywy Rady 2013/59/Euratom i dokumentów Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (IAEA). Zwrócić należy uwagę na rozróżnienie pomiędzy bezpieczeństwem radiologicznym (*radiation safety*), którego celem jest ochrona ludzi przed skutkami narażenia na promieniowanie jonizujące, a ochroną fizyczną źródeł (*nuclear security*) ukierunkowaną na zapobieganie utracie kontroli nad źródłami promieniotwórczymi, ich kradzieży, sabotażowi lub wykorzystaniu do działań o charakterze przestępczym.

Klasyfikacja źródeł promieniotwórczych według kategorii zagrożeń IAEA wskazuje na szczególne wymagania dotyczące źródeł wysokoaktywnych wykorzystywanych między innymi w brachyterapii HDR, radioterapii oraz wybranych procedurach medycyny nuklearnej. Podkreślić należy, że poziom stosowanych zabezpieczeń powinien być proporcjonalny do potencjalnych skutków utraty kontroli nad źródłem oraz wynikać z kompleksowej oceny ryzyka obejmującej zarówno zagrożenia radiacyjne, jak i zagrożenia związane z bezpieczeństwem fizycznym.

Omówienie podstawowych elementów systemu zabezpieczeń funkcjonujących w jednostkach medycznych, obejmujące kontrolę dostępu do pomieszczeń, monitoring wizyjny, systemy sygnalizacji włamania i napadu, ewidencję oraz okresową inwentaryzację źródeł, procedury transportu wewnętrznego i postępowania w sytuacjach awaryjnych, jest kluczowe dla utrzymania bezpieczeństwa osób i mienia, a także ciągłości prowadzonych procedur medycznych. Szczególną uwagę poświęcić trzeba organizacji terenów kontrolowanych i nadzorowanych oraz znaczeniu właściwego oznakowania, ograniczenia dostępu osób nieuprawnionych i monitorowania parametrów bezpieczeństwa zgodnie z wymaganiami ochrony radiologicznej.

Podkreślić należy, że skuteczność systemu zabezpieczeń zależy nie tylko od zastosowanych rozwiązań technicznych, lecz również od poziomu kultury bezpieczeństwa funkcjonującej w organizacji. Systematyczne szkolenia personelu, doskonalenie procedur, analiza zdarzeń radiacyjnych oraz regularna ocena ryzyka stanowią podstawowe elementy ograniczania prawdopodobieństwa wystąpienia incydentów związanych z wykorzystaniem źródeł promieniotwórczych.

W dobie niepewnej sytuacji politycznej na świecie analizy wskazują, że zapewnienie wysokiego poziomu bezpieczeństwa w jednostkach medycznych wymaga zintegrowanego podejścia łączącego wymagania ochrony radiologicznej, ochrony fizycznej oraz zarządzania ryzykiem. W obliczu rozwoju technologii medycznych oraz zmieniających się zagrożeń dla bezpieczeństwa obiektów infrastruktury krytycznej ciągłe doskonalenie systemów zabezpieczeń oraz rozwój kultury bezpieczeństwa pozostają kluczowymi elementami odpowiedzialnego wykorzystania źródeł promieniotwórczych w ochronie zdrowia.

Ocena spójności i czułości testów Machine Performance Check (MPC) na tle tygodniowych pomiarów dozymetrycznych akceleratorów VitalBeam i TrueBeam

Marcin Szymański[1], Anna Zaleska[1], Magdalena Lesiak[1], Barbara Kuśmierska-Piątek[1], Magdalena Murawska[1], Ewa Firganrk-Krzyżak[1]

[1] Mazowiecki Szpital Onkologiczny

Wstęp i cel pracy: Automatyczny moduł *Machine Performance Check* (MPC) w akceleratorach VitalBeam i TrueBeam pozwala na szybką ocenę stanu technicznego każdego aparatu. Ocena jego wiarygodności na większą skalę wymaga jednak zestawienia odczytów z wielu jednostek eksploatowanych w analogicznych warunkach klinicznych. Celem pracy była wielostanowiskowa ewaluacja spójności, powtarzalności i czułości modułu MPC na trzech akceleratorach liniowych poprzez bezpośrednie porównanie jego odczytów z tygodniowymi pomiarami referencyjnymi oraz niezależną kontrolą izocentrum radiologicznego.

Materiały i metody: Badaniem objęto dane pomiarowe gromadzone od stycznia do lipca 2026 r. na trzech akceleratorach (dwa akceleratory VitalBeam i jeden TrueBeam). Zbiór danych z każdego aparatu obejmował testy MPC dla wiązek 6 MV oraz 6 MV FFF, ze szczególnym uwzględnieniem rozszerzonej kontroli geometrii stołu i kolimatora dla energii 6 MV. Pomiary odniesienia stanowiły: tygodniowe pomiary dozymetryczne wykonywane komorami jonizacyjnymi typu Farmer w fantomie stałym; tygodniowa weryfikacja izocentrum radiologicznego wykonywana metodą Winstona-Lutza przy użyciu dedykowanego fantomu PTW oraz oprogramowania Pylinac.

Wyniki: Analiza statystyczna skupia się na ocenie korelacji wskazań MPC z pomiarami tygodniowymi w obrębie każdego akceleratora. Oceniono także spójność modułu *IsoCheck* z wynikami testów Winstona-Lutza dla poszczególnych akceleratorów. Wyznaczane są średnie odchylenia względne, odchylenia standardowe oraz wskaźniki odtwarzalności odczytów MPC w czasie dla całej grupy aparatów.

Wnioski: Wieloakceleratorowa weryfikacja modułu MPC pozwala na obiektywną ocenę powtarzalności automatycznych testów kontroli jakości zaimplementowanych przez producenta. Obserwacja trendu potwierdza spójność i wysoką czułość z wynikami uzyskanymi w kontroli tygodniowej.

Mechaniczne izocentrum akceleratora – fundament precyzji radioterapii precyzyjnej małych guzów

Mikołaj Tarchalski[1], Paweł Kukołowicz[1], Dariusz Szałkowski[2]

[1] Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy (NIO-PIB);
[2] NaviRation sp. z o.o.

Cel: Precyzyjne określenie położenia izocentrum akceleratora stanowi podstawę geometrycznej kontroli jakości oraz warunek bezpiecznej realizacji nowoczesnych technik radioterapii, w szczególności małych guzów. W praktyce klinicznej wykorzystywane są różne definicje izocentrum (mechaniczne, promieniowania i obrazowania), jednak relacje pomiędzy nimi pozostają niewystarczająco scharakteryzowane. Celem pracy była odpowiedź na pytanie: czy możemy zrezygnować z pomiarów izocentrum mechanicznego akceleratorów medycznych? Odpowiedź będzie sformułowana na podstawie porównania parametrów izocentrum akceleratorów eksploatowanych w różnych ośrodkach oraz ocena przydatności izocentrum mechanicznego jako wspólnego układu odniesienia dla pozostałych parametrów geometrycznych.

Materiał i metoda: Badaniem objęto 20 akceleratorów medycznych zainstalowanych w 10 ośrodkach radioterapii, 2 wiodących producentów Elekty i Variana. Do wyznaczenia geometrii izocentrum mechanicznego wykorzystano system optyczny NaviRation, umożliwiający automatyczną rejestrację trajektorii ruchu ramienia, kolimatora oraz stołu terapeutycznego z submilimetrową dokładnością. Na podstawie analizy osi obrotu poszczególnych elementów wyznaczono trójwymiarowy układ współrzędnych akceleratora oraz położenie i rozmiar izocentrum mechanicznego. Uzyskane wyniki porównano z parametrami izocentrum promieniowania, analizując ich wzajemne relacje geometryczne.

Wyniki: Pomiary wykazały istotne różnice jakościowe parametrów geometrycznych pomiędzy badanymi akceleratorami, zarówno pomiędzy poszczególnymi ośrodkami radioterapii, jak i pomiędzy urządzeniami różnych producentów. Określone zostały wzajemne położenia izocentrum mechanicznego oraz izocentrum promieniowania.

Największe rozbieżności stwierdzono dla analizy ruchu stołu terapeutycznego, gdzie odchylenia geometryczne były istotnie większe niż dla obrotu gantry i kolimatora. Wyniki wskazują, że dokładność geometryczna stołu może stanowić jeden z głównych czynników ograniczających całkowitą dokładność przestrzenną akceleratora, szczególnie w procedurach stereotaktycznych wymagających obrotów stołu oraz napromieniania z wielu kierunków.

Uzyskane wyniki potwierdzają również, że izocentrum mechaniczne, promieniowania oraz obrazowania nie zawsze są współliniowe i nie mogą być traktowane jako tożsame. Wzajemne zależności pomiędzy nimi mają charakter indywidualny dla danego akceleratora i powinny być analizowane jako element kompleksowej oceny geometrii systemu terapeutycznego.

Wnioski: Pomiar izocentrum mechanicznego pozwala określić najbardziej wiarygodny i trwały układ współrzędnych akceleratora jako punkt odniesienia dla pozostałych pomiarów parametrów akceleratora. Wyznaczenie stabilnego układu odniesienia umożliwia jednoznaczną interpretację wyników kontroli jakości oraz ilościową ocenę relacji pomiędzy izocentrum mechanicznym, promieniowania i obrazowania. Dodatkowo odchylenia zmierzone dla izocentrum mechanicznego propagują się do izocentrum promieniowania i obrazowania.

W związku z rosnącym wykorzystaniem radioterapii stereotaktycznej, napromieniania wielu zmian z wykorzystaniem jednego izocentrum oraz eskalacji dawek frakcyjnych, precyzyjne określenie rzeczywistego rozmiaru izocentrum akceleratora staje się jednym z kluczowych parametrów wpływających na bezpieczeństwo i skuteczność leczenia. Dotychczasowe metody wyznaczania izocentrum przyjęte jako standard są niewystarczające i potrzebują innowacyjnych zmian. Choć swoboda wykorzystania metod określania izocentrum mechanicznego daje fizykom medycznym poczucie wolności, to jednak bezpieczeństwo wymusza podniesienie standardów. Ta prezentacja pokazuje, jak dzięki innowacji w rutynowej kontroli jakości można pozytywnie wpłynąć na dalszy rozwój radioterapii wysokiej precyzji. To wpisuje się w zagadnienie „Standaryzacja vs innowacja, czyli bezpieczeństwo vs wolność", podkreślając rolę fizyka medycznego w zapewnieniu najwyższej jakości i bezpieczeństwa nowoczesnego leczenia onkologicznego.

Wzorce odniesienia do wyznaczania objętości czynnej komór jonizacyjnych z użyciem rentgenowskiej tomografii przemysłowej

Marta Rępalska[1], Tomasz Kowaluk[1], Adam Woźniak[1], Piotr Tulik[1]

[1] Politechnika Warszawska, Wydział Mechatroniki, Instytut Metrologii i Inżynierii Biomedycznej

Cel: Komory jonizacyjne są szeroko stosowane w dozymetrii, szczególnie w radioterapii i ochronie radiologicznej. Innym ważnym obszarem zastosowań tych komór jest budowa wzorców dawki pochłoniętej (w powietrzu i wodzie) dla różnych rodzajów pól promieniowania, w tym dla wiązek i źródeł stosowanych w procedurach medycznych.

Metoda jonometryczna, wykorzystująca komory jonizacyjne, pozwala na bezwzględne określenie wartości dawki pochłoniętej poprzez pomiar ładunku wygenerowanego w procesie jonizacji gazu zawartego w objętości czynnej komory. Niepewność pomiaru przy użyciu metody jonometrycznej zależy od określenia stałych fizycznych i współczynników korekcyjnych dla danej komory jonizacyjnej oraz przede wszystkim od niepewności określenia objętości czynnej komory.

Objętość czynną komory jonizacyjnej można wyznaczyć z wykorzystaniem metod rentgenowskiej tomografii przemysłowej. Jednak żeby z wykorzystaniem tych metod uzyskać wymagane niepewności, potrzebne są dedykowane tym zastosowaniom wzorce pozwalające odnieść uzyskiwane wyniki do pomiarów z użyciem maszyn współrzędnościowych.

Materiał i metoda: W ramach niniejszej pracy opracowano i wykonano 16 wzorców objętości czynnej komór – 8 wzorców komór wykonanych z grafitu POCO EDM-3 oraz 8 wzorców komór wykonanych ze stopu aluminium PA6, zróżnicowanych pod względem geometrii (cylindryczne, naparstkowe), objętości (0,5 cm^3; 10 cm^3; 30 cm^3; 60 cm^3) oraz grubości ścianek (5 mm, 3 mm i 2,5 mm).

Objętości czynne komór zostały wyznaczone na podstawie pomiarów cech geometrycznych (promień okręgu oraz odległość), z wykorzystaniem zależności geometrycznych. Cechy geometryczne zostały wyznaczone z użyciem maszyny współrzędnościowej Carl Zeiss Accura znajdującej się w Instytucie Metrologii i Inżynierii Biomedycznej Politechniki Warszawskiej. Niezależne pomiary cech geometrycznych zostały wykonane również na maszynie współrzędnościowej PMM12106 Leitz Hexag w Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki, które jest akredytowanym przez PCA laboratorium wzorcującym.

Do oszacowania niepewności pomiarów współrzędnościowych zastosowano metodę analizy wrażliwości odniesioną do dwóch rodzajów cech geometrycznych: promienia okręgu i odległości.

Wyniki: W ramach wykonanych prac zmierzono wartości cech geometrycznych wszystkich 16 opracowanych wzorców i na tej podstawie wyznaczono ich rzeczywiste objętości czynne wraz z niepewnościami. Uzyskane wyniki wykazały, że niepewność kalibracji U_{cal} zawiera się w zakresie 0,006% ÷ 0,013% dla pomiarów wykonanych w laboratorium akredytowanym.

Wyniki uzyskane w dwóch niezależnych laboratoriach współrzędnościowych zostały dodatkowo ocenione pod względem zachowania spójności wyników pomiaru (przy założeniu, iż wyniki otrzymane z laboratorium akredytowanego są wynikami referencyjnymi). W tym celu zastosowano liczbę E_n, będącą jednym z parametrów wymienionych w normie PN-EN ISO/IEC 17043, stosowanych do oceny zgodności w badaniach biegłości. Dla każdego z 16 wzorców uzyskano $|E_n| < 1$, co jednoznacznie potwierdza zgodność tych wyników.

Wnioski: Zaprojektowane i wykonane w ramach niniejszej pracy elementy można uznać za wzorce objętości czynnej komory jonizacyjnej. Zgodnie z literaturą przyjmuje się, że błędy względne pomiaru objętości czynnej komór jonizacyjnych nie powinny przekraczać 0,1%. Zgodnie ze złotą zasadą metrologii wzorce powinny charakteryzować się niepewnością o rząd wielkości mniejszą. Niepewność kalibracji ośmiu wykonanych wzorców komór jonizacyjnych spełnia założenia stawiane wzorcom objętości czynnej komór jonizacyjnych, czyli $U_{cal} < 0{,}01\%$.

Opracowane wzorce mogą być wykorzystywane do kalibracji i walidacji metod rentgenowskiej tomografii komputerowej w metrologii wymiarowej.

Badania dofinansowano ze środków budżetu Państwa w ramach konkursu NCBR: INFOSTRATEG7/0003/2023: Metrologiczna Platforma Wolumetrii w Tomografii Komputerowej.

Krajowe audyty dozymetryczne TLD w Polsce w latach 2025–2026 – ocena jakości radioterapii zgodnie z metodyką IAEA

Wioletta Ślusarczyk-Kacprzyk[1], Iwona Grabska[1], Krzysztof Chełmiński[1]

[1] Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Fizyki Medycznej, Pracownia Wtórnych Wzorców Dozymetrycznych

Cel pracy: Celem pracy jest przedstawienie wyników krajowych audytów dozymetrycznych TLD przeprowadzonych w Polsce w latach 2025–2026 oraz ocena jakości dozymetrii w polskich ośrodkach radioterapii w odniesieniu do kryteriów akceptacji stosowanych przez IAEA.

Materiał i metody: Zapewnienie jakości w radioterapii wymaga systematycznej kontroli wszystkich etapów procesu leczenia, w tym niezależnej weryfikacji poprawności dozymetrii klinicznej. Zewnętrzne audyty dozymetryczne umożliwiają ocenę zgodności dawki dostarczanej przez aparaty terapeutyczne z wartościami deklarowanymi przez ośrodki radioterapii. Krajowy program audytów dozymetrycznych realizowany jest zgodnie z metodyką IAEA/WHO TLD Postal Dose Audit oraz zaleceniami Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (IAEA). Pracownia Wtórnych Wzorców Dozymetrycznych NIO-PIB w Warszawie (PWWD) jako laboratorium audytujące uczestniczy również w międzynarodowym systemie kontroli jakości IAEA obejmującym procedurę Blind Check (ślepej próbki) potwierdzającą poprawność działania systemu dozymetrycznego.

Audyty przeprowadzono w ośrodkach prowadzących teleradioterapię przy pomocy konwencjonalnych akceleratorów. W 2025 r. zaudytowano 152 wiązki (146 wiązek promieniowania X, 6 wiązek elektronowych) w 44 ośrodkach, a w 2026 r. 153 wiązki (147 wiązek promieniowania X, 6 wiązek elektronowych) w 44 ośrodkach. Audyt obejmował również wiązki w warunkach niereferencyjnych – w każdym roku 14 pomiarów obejmujących pola formowane przez MLC i pola asymetryczne. Podczas audytów użyto detektorów termoluminescencyjnych LiF typu MT-N. Przeprowadzono analizę wyników parametru *delta* określającego procentową różnicę między dawką deklarowaną przez uczestnika a dawką wyznaczoną przez laboratorium PWWD po uwzględnieniu współczynników korekcyjnych.

Wyniki: W 2025 r. dla wiązek promieniowania X średnia wartość parametru *delta* wyniosła −0,23% (zakres od −4,00% do 1,90%), a dla wiązek elektronowych 0,30% (od −0,70% do 1,10%). Jeden z 152 wyników wymagał dodatkowej analizy i powtórzenia audytu. W 2026 r. dla wiązek promieniowania X uzyskano średnią wartość parametru *delta* −0,10% (zakres od −3,40% do 3,10%), natomiast dla wiązek elektronowych 1,72% (od −1,10% do 2,50%). Trzy wyniki wymagały postępowania wyjaśniającego.

Uzyskane wyniki wskazują na wysoką stabilność dozymetrii w polskich ośrodkach radioterapii. Średnie wartości parametru *delta* dla wiązek fotonowych były bliskie zeru, potwierdzając bardzo dobrą zgodność pomiędzy dawkami wyznaczanymi przez ośrodki a wartościami referencyjnymi. Dla porównania, w 2024 r. odnotowano sześć wyników poza poziomem akceptacji, w tym maksymalną wartość parametru *delta* dla wiązek promieniowania X wynoszącą 32,70%. Po wykonaniu audytów powtórnych końcowy zakres parametru *delta* wyniósł od −3,10% do 3,30% (średnia 1,24%).

Całkowita niepewność rozszerzona wyznaczania dawki pochłoniętej w wodzie metodą TLD (niepewności typu A oraz B w PWWD) wynosi 3,4% przy współczynniku rozszerzenia $k = 2$.

Potwierdzeniem uzyskiwania prawidłowych wyników systemu audytowego jest coroczny Blind Check. To procedura odczytania w PWWD „ślepej próbki" i wyznaczenia dawki, jaką została ona napromieniona. Współczynnik zgodności wyniósł 1,005 w 2025 r. oraz 0,994 w 2026 r., co odpowiada różnicom względem wartości referencyjnej odpowiednio +0,5% i −0,6%. Kryterium akceptacji wyników Blind Check wyznaczone przez IAEA wynosi ±3%.

Wnioski: Krajowe audyty dozymetryczne TLD przeprowadzone w Polsce w latach 2025–2026 potwierdzają utrzymanie wysokiego poziomu jakości dozymetrii klinicznej. Parametr *delta* dla zdecydowanej większości audytowanych wiązek nie przekracza wartości ±3,5%, a liczba wyników wymagających działań korygujących była niewielka. Regularna realizacja audytów dozymetrycznych zgodnych z metodyką IAEA/WHO oraz niezależna kontrola PWWD wykonywana przez IAEA poprzez procedurę Blind Check zapewniają wiarygodność wyników oraz wspierają utrzymanie wysokiej jakości i bezpieczeństwa radioterapii w Polsce.

E-POSTER: RADIOTERAPIA I BRACHYTERAPIA

AAA vs Acuros – wpływ wyboru algorytmu obliczeniowego na rozkład dawki w radioterapii nowotworów piersi

Sylwia Bazak[1], Przemysław Janiak[1], Piotr Mężeński[1], Magdalena Peszyńska-Piorun[1]

[1] Zakład Planowania Radioterapii, Wojewódzkie Wielospecjalistyczne Centrum Onkologii i Traumatologii im. M. Kopernika w Łodzi

Cel: Porównanie obliczeń rozkładu dawki algorytmami AAA (v16.1) oraz Acuros XB (v16.1) w odniesieniu do niezależnego obliczeniowo systemu myQA iON (v2.1, IBA Dosimetry) z uwzględnieniem wpływu gęstości tkanek w obszarze tarczowym.

Metoda: Plany leczenia dla analizowanych przypadków zostały wykonane techniką VMAT z wykorzystaniem wiązki fotonowej 6 MV z filtrem spłaszczającym, przy użyciu algorytmów obliczeniowych AAA i Acuros XB zaimplementowanych w systemie planowania leczenia Eclipse (v16.1, Varian Medical Systems). Dla każdego z obszarów tarczowych w planach leczenia określono średnią wartość Hounsfield Units (HU) oraz wyznaczono różnice średniej wartości dawki dla zastosowanych algorytmów obliczeniowych względem niezależnych obliczeń Monte Carlo (SciMoCa) w systemie myQA iON.

Wyniki: Zaobserwowano, że różnica między średnią dawką obliczoną algorytmem AAA a systemem myQA iON istotnie zależy od średniej wartości HU w obszarze tarczy, przy czym staje się wyraźna głównie dla obszarów o coraz niższych (bardziej ujemnych) wartościach HU. W przypadku algorytmu Acuros XB nie stwierdzono podobnej zależności.

Wnioski: Wyniki badania potwierdzają wyższą zgodność algorytmu Acuros XB z symulacjami Monte Carlo w porównaniu do algorytmu AAA, którego dokładność dla targetów w obszarze piersi wykazuje istotną zależność od spadku średniej wartości HU (gęstości tkanki). Różnice te mogą mieć istotne przełożenie kliniczne, wskazując na konieczność wyboru bardziej optymalnego algorytmu obliczeniowego w celu zapewnienia większej dokładności dozymetrycznej.

Charakterystyka dozymetryczna materiałów stosowanych w druku 3D indywidualnych bolusów: od sztywnego PLA do elastycznego TPU

Aleksandra Bochyńska[1], Edyta Fujak[1], Agnieszka Walewska[1], Paweł Kukołowicz[1], Anna Zawadzka[1]

[1] Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie

Cel: Dozymetryczna ocena przydatności wybranych filamentów elastycznych (TPU) stosowanych w technologii druku 3D jako alternatywy dla konwencjonalnych bolusów żelowych oraz filamentów sztywnych (PLA, ABS).

Materiał i metoda: Przy użyciu drukarki 3D FlashForge Creator 4 wydrukowano prostopadłościenne bolusy o wymiarach 100 × 100 mm, grubościach 5 i 10 mm oraz różnych gęstościach wypełnienia (30%, 40%, 50%, 60% oraz 100%). Do wydruku wykorzystano dwa filamenty elastyczne na bazie poliuretanu termoplastycznego (TPU 93A o twardości 93 Shore A oraz TPU 40D o twardości 40 Shore D) i dwa materiały sztywne (PLA i ABS). Wykonano TK każdej próbki ułożonej równolegle na fantomie płytowym o gęstości odpowiadającej gęstości wody. Procentowe dawki głębokie (PDG) w obszarze build-up (0–20 mm) zmierzono na akceleratorze TrueBeam (Varian Medical Systems) dla wiązek fotonowych 6 MV z filtrem spłaszczającym (FF) i bez filtra (FFF), dla pola 10 × 10 cm², SSD wynoszącym 90 cm do powierzchni fantomu. Zastosowano komorę płasko-równoległą Markus TM23343 (PTW-Freiburg) z korektą Gerbiego. Dla każdego układu pomiarowego wykonano jedną serię pomiarową, przy czym odczyt w każdym punkcie powtarzano trzykrotnie. Kolejne głębokości pomiarowe uzyskiwano poprzez zmianę liczby i grubości płyt fantomu umieszczanych nad płytą adaptacyjną z komorą jonizacyjną. Pomiary porównano z obliczeniami systemu planowania leczenia Eclipse (Varian Medical Systems) (algorytm AAA v.15.6.05) oraz z wynikami otrzymanymi dla analogicznych pomiarów i obliczeń uzyskanych dla konwencjonalnego bolusa żelowego. Określono korelację pomiędzy grubością radiologiczną wydruku (d_{rad}) odczytaną z systemu planowania leczenia i procentową dawką powierzchniową (D_0) oraz głębokością dawki maksymalnej (d_{max}).

Wyniki: Oba elastyczne bolusy TPU o grubości 10 mm i wypełnieniu 60% (d_{rad} = 8 mm) pozwoliły na uzyskanie dawki powierzchniowej D_0 > 95% o wartościach najbardziej zbliżonych do konwencjonalnego bolusa żelowego o grubości 10 mm, zarówno dla wiązek FF, jak i FFF. Dla wiązki 6 MV FFF dawkę D_0 > 95% uzyskano także dla bolusów z materiałów PLA oraz ABS o wypełnieniu 60% i grubości 10 mm (d_{rad} dla PLA = 8 mm, dla ABS = 7 mm). Wykazano, że dla wiązek FFF wyższe dawki powierzchniowe można uzyskać, stosując bolusy o niższym stopniu

wypełnienia, a co za tym idzie – o zmniejszonej grubości radiologicznej. Z kolei dla wiązek z filtrem spłaszczającym (FF) osiągnięcie D_0 > 95% wymagało zastosowania materiałów nie tylko o grubości 10 mm i wysokim stopniu wypełnienia, ale również o wyższej gęstości (TPU).

Zaobserwowano także silną korelację liniową pomiędzy grubością radiologiczną próbek a D_0 (R^2 = 0,860 dla wiązki FF oraz R^2 = 0,844 dla wiązki FFF), niezależnie od analizowanego filamentu. Dodatkowo wykazano wyraźną zależność pomiędzy d_{rad} badanych bolusów a głębokością d_{max}. Wraz ze wzrostem d_{rad} następowało systematyczne spłycenie położenia dawki maksymalnej dla obu typów wiązek. Analiza wykazała, że przy tej samej grubości radiologicznej (d_{rad} = 8 mm) bolusy wykonane z materiałów TPU (93A oraz 40D) o wypełnieniu 60% i grubości fizycznej 10 mm pozwalały na uzyskanie płytszego położenia d_{max} (wynoszącego odpowiednio 6 mm i 5 mm dla wiązki FF) w porównaniu do próbki PLA 60% (d_{max} = 7 mm). Wartości d_{max} otrzymane dla elastycznych bolusów z TPU były również najbliższe wartości otrzymanej dla bolusa żelowego (d_{max} = 4 mm).

Wnioski: Elastyczne bolusy drukowane w technologii 3D (TPU) wykazują klinicznie akceptowalne właściwości dozymetryczne i mogą stanowić alternatywę dla konwencjonalnych bolusów żelowych oraz sztywnych bolusów indywidualnych z PLA oraz ABS. Grubość radiologiczna została zidentyfikowana jako potencjalnie uniwersalny i niezależny od rodzaju tworzywa parametr, który pozwala na przewidywalną modyfikację dawki pod bolusem w obszarze build-up i stanowi praktyczną podstawę do optymalizacji projektowania personalizowanych bolusów poprzez modyfikację ich grubości czy parametru gęstości wypełnienia.

Ocena jakości fuzji sztywnej obrazów medycznych w radioterapii zgodnie z zaleceniami raportu AAPM TG-132 z wykorzystaniem systemu MIM (MIM ProtégéAI)

Anna Buszko[1], Norbert Paczkowski[1]

[1] Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy, do 2020 Centrum Onkologii – Instytut im. Marii Skłodowskiej-Curie

Wstęp: Fuzja obrazów medycznych stanowi istotny element współczesnej radioterapii, umożliwiając integrację informacji anatomicznych i funkcjonalnych pochodzących z różnych metod obrazowania oraz wspierając procesy planowania leczenia, adaptacji terapii i akumulacji dawki.

Cel pracy: Celem pracy była ocena jakości fuzji sztywnej obrazów tomografii komputerowej, wykonywanej w systemie MIM zgodnie z zaleceniami raportu AAPM TG-132.

Materiały i metody: Analizę przeprowadzono w systemie MIM (wersja 10.0.17763). Oceniono rejestrację sztywną obrazów CT zgodnie z zaleceniami AAPM TG-132. Analizowano przesunięcia translacyjne i rotacyjne, zgodność struktur anatomicznych.

Wyniki: Ocena wykazała zależność jakości rejestracji od charakterystyki anatomicznej obszaru oraz zakresu zmian pomiędzy badaniami. Procedury QA pozwoliły na identyfikację obszarów zwiększonej niepewności transformacji.

Wnioski: Kontrola jakości fuzji obrazów jest niezbędna dla zapewnienia bezpieczeństwa zastosowań klinicznych. Implementacja zaleceń AAPM TG-132 w systemie MIM umożliwia standaryzację procedur QA.

Międzyfrakcyjna zmienność objętości obszarów tarczowych u pacjentek ginekologicznych leczonych z zastosowaniem radioterapii adaptacyjnej online

Oliwia Chmielewska[1], Anna Zawadzka[1], Dominika Bodzak[1], Agnieszka Żółciak[2], Martin Rydziński[2], Paweł Kukołowicz[1]

[1] Zakład Fizyki Medycznej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, ul. Roentgena 5;
[2] Zakład Radioterapii I, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy

Cel: Radioterapia adaptacyjna online (*online adaptive radiotherapy*, oART) umożliwia dostosowanie planu leczenia do aktualnej anatomii pacjenta. Dokładność wyznaczania obszarów tarczowych może być jednak ograniczona przez jakość obrazu tomografii stożkowej oraz konieczność realizacji procedury pod presją czasu. Czynniki te mają szczególnie duże znaczenie w obszarze miednicy mniejszej, charakteryzującym się dużą ruchomością narządów oraz niskim kontrastem tkanek miękkich. Celem badania była ocena międzyfrakcyjnych zmian wyznaczania obszarów tarczowych u pacjentek ginekologicznych napromienianych z zastosowaniem systemu Ethos oraz identyfikacja trendów czasowych występujących podczas leczenia.

Materiały i metody: Retrospektywnej analizie poddano 12 kolejnych pacjentek z nowotworem ginekologicznym (leczenie radykalne z zastosowaniem oART na obszar macicy i regionalnych węzłów chłonnych). Pacjentki otrzymały dawkę frakcyjną 2 Gy w 23–28 frakcjach przy użyciu systemu Ethos (VARIAN, wersja 2.0). W ramach oceny geometrycznej przeanalizowano w kolejnych dniach terapii względne zmiany objętości tarczowych obejmujących macicę (CTV_T) oraz regionalne węzły chłonne (CTV_N).

CTV_T było generowane przez system na podstawie struktur anatomicznych pełniących funkcję influenserów (struktur sterujących), natomiast CTV_N uzyskiwano metodą propagacji struktury na obraz frakcyjny z wykorzystaniem rejestracji sztywnej obrazu. Kontury były weryfikowane i w razie potrzeby modyfikowane przez lekarza przed zatwierdzeniem planu adaptacyjnego. Dla każdej frakcji obliczono względną zmianę objętości CTV_T i CTV_N w stosunku do objętości wyznaczonej w referencyjnym badaniu TK według wzoru: ΔV = (V_frakcja – V_referencyjna)/V_referencyjna × 100%. Trendy czasowe oceniano oddzielnie dla każdej pacjentki poprzez dopasowanie prostej regresji liniowej do objętości w funkcji numeru frakcji. Kierunek i wielkość trendu określano na podstawie współczynnika kierunkowego prostej. W sumie przeanalizowano 298 frakcji. Czynności związane z konturowaniem były realizowane przez 22 różnych lekarzy.

Wyniki: Maksymalna bezwzględna zmiana objętości względem objętości referencyjnej wyniosła 63% dla CTV_T i 30% dla CTV_N. Średnia względna zmiana objętości, obliczona oddzielnie dla każdej pacjentki na podstawie wszystkich frakcji, wahała się między -5,7% a 22,4% dla CTV_T oraz od -3,6% do 2,5% dla CTV_N. Odchylenie standardowe względnych zmian objętości w całej grupie wynosiło 20,2 punktu procentowego (p.p.) dla CTV_T i 4,5 p.p. dla CTV_N, co wskazuje na większą międzyfrakcyjną zmienność objętości CTV_T. U pięciu pacjentek zaobserwowano systematyczne zmniejszanie się objętości CTV_T w kolejnych frakcjach, określone na podstawie ujemnego współczynnika kierunkowego prostej regresji. W tej grupie współczynniki regresji mieściły się w zakresie od -12,14 (R^2 = 0,81) do -3,66 (R^2 = 0,51). Dla CTV_N nie obserwowano równie wyraźnych zmian objętości w czasie.

Wnioski: Znaczna międzyfrakcyjna zmienność objętości CTV obejmującego macicę, w tym obserwowane u części pacjentek trendy do jej zmniejszania, wskazuje na kliniczną zasadność codziennej weryfikacji anatomii i adaptacji planu leczenia. Objętość CTV regionalnych węzłów chłonnych wykazywała zdecydowanie mniejszą zmienność podczas terapii. Obserwowane różnice mogą wynikać z wielu nakładających się czynników, w tym rzeczywistych zmian anatomii, zmiennego wypełnienia pęcherza i odbytnicy, regresji choroby, ograniczonej jakości obrazowania oraz różnic w sposobie konturowania przez poszczególnych lekarzy. Ponieważ przeprowadzona analiza nie pozwala jednoznacznie rozdzielić wpływu tych czynników, zasadne wydaje się wprowadzenie ustandaryzowanych zasad konturowania i dodatkowych procedur codziennej kontroli jakości, które mogłyby ograniczyć niespójność wyznaczania obszarów tarczowych pomiędzy kolejnymi frakcjami.

Radioterapia adaptacyjna online nowotworów głowy i szyi w systemie Ethos: pilotażowe wdrożenie i potencjalne korzyści dozymetryczne

Mariusz Gruda[1], Karolina Pomorska[1], Krzysztof Domański[1], Marcin Stolarczyk[1], Piotr Czuchraniuk[1], Izabela Sochaj-Sanaluta[1], Andrzej Jarząbski[1], Paweł Kukołowicz[1], Dorota Kiprian[1], Anna Zawadzka[1]

[1] Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

Cel: Celem pracy było opracowanie i wstępna ocena procedury radioterapii adaptacyjnej online (oART) u chorych na nowotwory głowy i szyi leczonych na aparacie Ethos oraz określenie potencjalnych korzyści dozymetrycznych codziennej adaptacji planu leczenia na podstawie analizy dwóch przypadków.

Materiały i metoda: Do analizy włączono dwóch pacjentów: 74-letniego chorego na raka migdałka, leczonego dawką 66/60 Gy w 30 frakcjach (P1), oraz 64-letniego chorego na raka części ustnej gardła, leczonego dawką 70/63 Gy w 35 frakcjach (P2). Zastosowano maskę 5-punktową na podstawce AIO u P1 oraz maskę 3-punktową z materacem próżniowym u P2. Ponieważ akcesoria unieruchamiające nie są uwzględniane w obliczeniach dawki podczas sesji adaptacyjnej, w systemie Eclipse porównano rozkłady dawki obliczone z ich uwzględnieniem i bez nich dla różnych geometrii wiązek. Do leczenia wybrano technikę 12-polowego IMRT. W każdej frakcji wykonywano CBCT_init, na którym weryfikowano i w razie potrzeby korygowano kontury obszarów tarczowych i wybrane narządy krytyczne. PTV tworzono przez izotropowe rozszerzenie CTV o 3 mm. Następnie generowano plan pierwotny przeliczony na aktualną anatomię (*scheduled*) oraz plan ponownie zoptymalizowany (*adapted*). Przed realizacją wybranego planu leczenia wykonywano CBCT_verify w celu oceny i ewentualnej korekty ułożenia pacjenta. Analizowano zmiany objętości struktur, parametry DVH, liczbę frakcji spełniających cele planistyczne oraz czas adaptacji i całkowity czas sesji. Ponadto porównano dawkę akumulacyjną z systemu Ethos z dawkami z planu pierwotnego.

Wyniki: We wszystkich frakcjach u obu pacjentów wybrano plan *adapted*. Pomiędzy pierwszą a drugą połową leczenia u P1 objętość GTV węzłowego zmniejszyła się o 32,6%, PTV66 o 20,1%, a ślinianek o 22,5% i 36,1%. U P2 GTV pierwotne pozostawało względnie stabilne (–2,5%), natomiast PTV63 zmniejszyło się o 7,5%, węzły o 18–22%, a ślinianki o około 23%. U P1 średnia wartość D98 dla PTV60 wzrosła z 91,84% w planach *scheduled* do 96,68% w *adapted*, a liczba frakcji spełniających cel zwiększyła się z 3/30 do 30/30. U P2 D98 dla PTV63 wzrosła z 92,52% do 96,41%, przy wzroście liczby frakcji spełniających cel z 3/35 do 35/35. W planach *adapted* średnia dawka frakcyjna w śliniankach była niższa o 5,0–7,2% u P1 i 4,6–9,2% u P2. U P2 V70 dla żuchwy zmniejszyło się z 0,92 do 0,06 cm³, natomiast D_{max} dla rdzenia kręgowego + 3 mm wzrosła z 1,16 do 1,22 Gy/frakcję. W dawce akumulacyjnej D_{max} dla tej struktury była wyższa od planu pierwotnego o 2,89 Gy. U P1 zakumulowana dawka wykazała obniżenie D_{max} dla rdzenia kręgowego + 3 mm o 8,97 Gy, ale także niewielki spadek D98 dla części targetów i wzrost D_{mean} ślinianek. Dla zastosowanej geometrii (IMRT-12-pól) nieuwzględnienie akcesoriów zmieniało D98 targetów o 0,2–1,1%, podczas gdy dla VMAT różnice dochodziły do 2,3%; największe różnice dotyczyły

D_{max} w tkankach powierzchownych (2,3–2,6%). Średni czas adaptacji planu wyniósł 24,1±7,5 u P1 i 21,1±3,9 min u P2, a całkowity czas sesji odpowiednio 34,4±7,3 i 32,9±4,8 min.

Wnioski: W analizowanych dwóch przypadkach procedura oART w systemie Ethos w obszarze głowy i szyi była wykonalna klinicznie i poprawiała stabilność pokrycia PTV w porównaniu z planami *scheduled*. Korzyści dozymetryczne zależały od pacjenta: u P1 dominowała regresja targetów wysokiej dawki, u P2 znaczenie miały zmiany węzłów, ślinianek i geometrii wysokiej dawki względem żuchwy. Większe zmiany objętości części struktur obserwowane w drugiej połowie leczenia mogą wskazywać na rosnące znaczenie adaptacji w kolejnych tygodniach terapii. Analiza dawki akumulacyjnej uzupełniała ocenę frakcyjną, ujawniając indywidualne kompromisy dozymetryczne. Wstępne wyniki wskazują, że oART u chorych na nowotwory głowy i szyi może poprawiać jakość dozymetryczną leczenia, jednak wymagają potwierdzenia w większej grupie chorych.

Ocena nowego narzędzia do pomiaru długości igieł w brachyterapii HDR prostaty

Tomasz Kostecki[1]
[1] Diagnomatic

Cel: Dokładny pomiar długości igieł jest niezbędny w brachyterapii HDR prostaty, aby zapewnić prawidłową rekonstrukcję pozycji postojowych źródła podczas planowania leczenia. W praktyce klinicznej pomiary wykonywane są najczęściej za pomocą standardowej linijki, co może być niewygodne w trakcie zabiegu i wymagać od operatora przyjmowania nieergonomicznej pozycji. Celem pracy była ocena dedykowanego narzędzia do pomiaru długości igieł, zaprojektowanego w celu uproszczenia procesu pomiarowego oraz poprawy ergonomii pracy.

Metody: Do procedury brachyterapii HDR prostaty wprowadzono mechaniczne narzędzie do weryfikacji długości igieł po ich implantacji. Pomiary wykonane przy użyciu nowego urządzenia porównano z pomiarami uzyskanymi za pomocą standardowej linijki. Dodatkowo oceniono łatwość użytkowania narzędzia oraz jego wpływ na ergonomię pracy operatora podczas zabiegu.

Wyniki: Pomiary długości igieł wykonane przy użyciu dedykowanego urządzenia były zgodne z pomiarami wykonanymi standardową linijką. Konstrukcja urządzenia umożliwiła wykonywanie pomiarów w bardziej ergonomicznej pozycji roboczej, ograniczając konieczność pochylania się nad stołem zabiegowym i upraszczając przebieg procedury pomiarowej.

Wnioski: Zastosowanie dedykowanego narzędzia do pomiaru długości igieł zapewnia dokładność porównywalną ze standardową linijką, jednocześnie poprawiając ergonomię pracy podczas zabiegów brachyterapii HDR prostaty. Rozwiązanie to może usprawnić przebieg procedury oraz zwiększyć komfort pracy personelu medycznego.

Porównanie manualnych obliczeń EQD_2 i biologicznej akumulacji dawki w RayStation w planowaniu reirradiacji po 14 latach – opis przypadku

Dominika Oborska-Kumaszynska[1], *Chris South*[1], *Fiona Minear*[1]
[1] Sunrise Centre, Royal Cornwall Hospital NHS Trust

Cel: Ocena możliwości wykorzystania manualnych obliczeń EQD_2 do planowania reirradiacji oraz porównanie ich z biologiczną akumulacją dawki realizowaną w systemie RayStation. Dodatkowym celem była analiza wpływu deformacyjnej rejestracji obrazów i deformacji rozkładów dawki na ocenę parametrów biologicznych w przypadku częściowego nakładania się obszarów napromienianych po 14 latach od zakończenia pierwotnej radioterapii.

Materiał i metoda: Przedstawiono przypadek pacjenta leczonego radykalnie z powodu raka nosogardła w 2011 r. dawką 66 Gy w 30 frakcjach, u którego po 14 latach wdrożono radykalną radioterapię raka przełyku dawką 50 Gy w 25 frakcjach. Część objętości PTV pokrywała się z obszarem uprzednio napromienianym, zlokalizowanym w obszarze gradientu dawek wynikającego z wielopoziomowej preskrypcji zastosowanej podczas leczenia raka nosogardła, co stanowiło dodatkowe wyzwanie dla oceny dawek skumulowanych. Dodatkową trudność stanowiły istotne zmiany anatomiczne pomiędzy kolejnymi kursami leczenia.

Na podstawie izodoz poprzedniego leczenia (62,7 Gy, 57 Gy i 51,3 Gy) utworzono trzy podobjętości PTV z preskrypcjami odpowiednio 36,6 Gy, 40,2 Gy i 50 Gy. Wykonano manualne obliczenia EQD_2 dla rdzenia kręgowego, PRV rdzenia kręgowego i przełyku, przyjmując 50% regeneracji tkanek oraz 5-milimetrowy margines niepewności geometrycznej. Następnie retrospektywnie wykonano deformacyjną rejestrację obrazów CT, deformację historycznego rozkładu dawki i biologiczne sumowanie EQD_2 w systemie RayStation 2025 SP1. Analiza stanowiła również element przygotowania metodologii do przyszłej walidacji z wykorzystaniem fantomów deformowalnych.

Wyniki: Manualne obliczenia umożliwiły opracowanie strategii leczenia uwzględniającej częściowe nakładanie się obszarów napromienianych oraz ograniczenia dla narządów krytycznych. Uzyskane wartości skumulowanego EQD_2 dla przełyku (α/β = 3 Gy) wyniosły odpowiednio 66,9 Gy, 66,8 Gy i 63,6 Gy dla poszczególnych podobjętości PTV, natomiast maksymalne wartości EQD_2 dla rdzenia kręgowego nie przekroczyły 45 Gy. Manualne obliczenia EQD_2 stanowiły podstawę opracowania strategii leczenia z trzypoziomową preskrypcją dawki, która została następnie poddana retrospektywnej weryfikacji z wykorzystaniem biologicznej akumulacji dawki.

Po zastosowaniu deformacyjnej rejestracji obrazów i biologicznej akumulacji dawki odnotowano odchylenia względem obliczeń manualnych do 2,6% dla PRV rdzenia kręgowego i do 19,7% dla wybranych parametrów przełyku. Dla objętości PTV odchylenia parametrów D_{mean} wyniosły odpowiednio 11,8%, 15,3% i 22,4%, natomiast dla parametrów wysokodawkowych nie przekraczały 5,9%. Większą zgodność metod obserwowano dla struktur rdzenia kręgowego niż dla przełyku i objętości PTV, co może wskazywać na większą wrażliwość struktur podlegających istotnym zmianom anatomicznym na zastosowaną metodę akumulacji dawki.

Wnioski: Manualne obliczenia EQD_2 okazały się użytecznym narzędziem wspomagającym planowanie reirradiacji i pozwoliły na opracowanie bezpiecznej strategii leczenia w obszarze częściowego nakładania się pól napromieniania. Większe rozbieżności dla przełyku i parametrów średniodawkowych objętości PTV wskazują, że deformacyjna rejestracja obrazów i deformacja rozkładów dawki mogą istotnie wpływać na ocenę biologicznych dawek skumulowanych, szczególnie przy znacznych zmianach anatomicznych i długim odstępie pomiędzy kursami leczenia. Przedstawiony przypadek pokazuje, że równoległe wykorzystanie manualnych obliczeń EQD_2 i narzędzi biologicznej akumulacji dawki może zwiększać wiarygodność procesu planowania reirradiacji. Zastosowana metodologia stanowi pierwszy etap prac nad lokalną procedurą walidacji deformacyjnej rejestracji obrazów i biologicznej akumulacji dawki. Kolejnym etapem będzie commissioning oparty na testach z wykorzystaniem przygotowywanych fantomów deformowalnych, umożliwiających ocenę niepewności procesu deformacji i biologicznego sumowania dawek.

Ocena jakości weryfikacji VMAT z wykorzystaniem systemu EpiBeam (Dosisoft)

Anna Pawłowska[1], Kinga Kulińska[1], Paweł Wołowiec[1], Piotr Pedrycz[1]
[1] Świętokrzyskie Centrum Onkologii

Cel pracy: Celem pracy była ocena jakości weryfikacji planów klinicznych VMAT z wykorzystaniem systemu EpiBeam (Dosisoft).

Materiały i metody: Analizie poddano wyniki kontroli jakości dla 1581 pacjentów napromienianych w okresie od listopada 2024 r. do lipca 2026 r. Wśród nich 552 pacjentów leczono z powodu nowotworów w obrębie miednicy, 182 w obrębie głowy i szyi oraz 847 w obrębie klatki piersiowej. Łącznie przeanalizowano 3474 wiązki terapeutyczne. Wszystkie plany leczenia zostały przygotowane w systemie planowania leczenia RayStation (RaySearch Laboratories). Pomiary wykonano na dwóch akceleratorach Versa HD (Elekta). Do akwizycji obrazów użyto cyfrowych detektorów obrazu wraz z systemem obrazowania iViewGT. Natomiast analizę wyników przeprowadzono z użyciem oprogramowania EpiBeam (Dosisoft). Globalną analizę gamma wykonano dla kryteriów 2%/2 mm z progiem dawki 10%. Plany uznawano za akceptowalne, gdy współczynnik gamma passing rate (GPR) wynosił ≥ 95%. Dla każdej z trzech analizowanych grup obliczono średnią GPR, odchylenie standardowe, odsetek planów spełniających kryterium akceptacji. Dodatkowo obliczono próg (T95), który obejmuje dwa odchylenia standardowe (2 SD), czyli 95% wszystkich przeprowadzonych procesów kontroli jakości, dla każdej analizowanej lokalizacji.

Wyniki: Dla planów w rejonie głowy i szyi średni współczynnik GPR wyniósł 99,1% (SD = 1,4%), a 98,9% planów spełniło kryterium akceptacji. Wartość T95 wyniosła 96,6%.

Dla planów w rejonie klatki piersiowej średni współczynnik GPR wyniósł 99,0% (SD = 1,2%), a 99,4% planów spełniło założone kryterium. Wartość T95 wyniosła 97,0%.

Dla planów w rejonie miednicy średni współczynnik GPR wyniósł 99,3% (SD = 3,0%), a 99,3 % planów spełniło założone kryterium. Wartość T95 wyniosła 96,9%.

Niewielkie wartości odchylenia standardowego (SD) oraz wysokie wartości współczynnika GPR wskazują na stabilność pracy akceleratorów oraz wysoką zgodność pomiędzy obliczeniami systemu planowania leczenia a realizacją dawki. Nieliczne przypadki niespełniające kryterium GPR poddano pogłębionej analizie. W zależności od konkretnego przypadku zastosowano dodatkową niezależną weryfikację z użyciem innego systemu lub wprowadzono modyfikację planu leczenia.

Wnioski: Uzyskane wyniki potwierdzają wysoką zgodność pomiędzy obliczeniami wykonanymi w systemie planowania leczenia a rzeczywistą realizacją dawki oraz wskazują na stabilność procesu kontroli jakości. Wyniki świadczą o wysokiej precyzji systemu EPIbeam (Dosisoft) oraz zasadności stosowania w przypadku weryfikacji dozymetrycznej planów leczenia. W dalszych badaniach warto rozważyć zastosowanie bardziej restrykcyjnych parametrów analizy gamma w celu oceny czułości systemu EpiBeam.

Między komórkami o promieniowaniu – wpływ egzosomów na efekt sąsiedztwa i promieniowrażliwość komórek nowotworowych gruczołu krokowego

Beata Pszczółkowska-Kępa[1], Wioletta Olejarz[2], Alicja Głuszko[3], Tomasz Lorenc[4], Beata Brzozowska[5]

[1] Wydział Medyczny, Uniwersytet Warszawski, Warszawa, Polska;
[2] Centrum Badań Przedklinicznych Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego, Warszawa, Polska; Katedra i Zakład Biochemii i Farmakogenomiki, Wydział Farmaceutyczny, Warszawski Uniwersytet Medyczny, Warszawa, Polska;
[3] Katedra i Zakład Biochemii, Wydział Lekarski, Warszawski Uniwersytet Medyczny, Warszawa, Polska;
[4] I Zakład Radiologii Klinicznej, Wydział Lekarski, Warszawski Uniwersytet Medyczny, Warszawa, Polska;
[5] Zakład Fizyki Biomedycznej, Instytut Fizyki Doświadczalnej, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski, Warszawa, Polska

Zgodnie z danymi Światowej Organizacji Zdrowia (WHO, z ang. *World Health Organization*) z 2022 r. nowotwór gruczołu krokowego jest jednym z najczęściej diagnozowanych nowotworów wśród mężczyzn w wielu krajach, zwłaszcza w Europie i Ameryce Północnej. Pomimo dostępnych terapii (m.in. chirurgii, chemioterapii, radioterapii czy immunoterapii) wciąż poszukuje się nowych metod leczenia pacjentów onkologicznych, co w ostatnich latach przyczyniło się do rosnącego zainteresowania badaniami nad egzosomami. Jednym z badanych zjawisk, którego dotyczą prezentowane tutaj wyniki, jest efekt sąsiedztwa indukowanego promieniowaniem, w którym komórki niepoddane bezpośredniej ekspozycji reagują na sygnały od napromieniowanych komórek sąsiednich.

Głównym celem projektu było zbadanie wpływu egzosomów na promieniowrażliwość komórek nowotworowych gruczołu krokowego oraz ocena, czy egzosomy wyizolowane z komórek poddanych działaniu promieniowania X mogą indukować efekt sąsiedztwa w komórkach nienapromienionych. W badaniach wykorzystano egzosomy pochodzące z linii DU145 oraz z linii PC3, które były dodawane do komórek PC3, charakteryzujących się wyższą promieniowrażliwością niż DU145 [1]. W tym celu przeprowadzono analizę indukcji apoptozy i nekrozy, będących głównymi formami śmierci komórki. Wpływ stresu indukowanego promieniowaniem na koncentrację egzosomów wyizolowanych z komórek PC3 i DU145 oceniano przy użyciu metody Nanoparticle Tracking Analysis (NTA), która umożliwia jednoczesne określenie liczby i wielkości pęcherzyków. Za pomocą testu ognisk naprawczych gamma-H2AX analizowano, czy egzosomy wnikają do komórek docelowych, co pozwalało ocenić ich zdolność do przenoszenia sygnałów stresowych i potencjalnego modulowania promieniowrażliwości. Do zbadania odpowiedzi komórkowej na promieniowanie został również wykorzystany klonogenny test przeżywalności. W badaniach wykorzystano lampę RTG, dla której pomiary dozymetryczne zostały wykonane z użyciem filmów radiochromowych EBT4.

W przeprowadzonych eksperymentach wykazano, że komórki PC3 charakteryzują się wyższą promieniowrażliwością niż komórki DU145. Analiza egzosomów metodą NTA nie wykazała istotnych różnic w ich rozmiarze pomiędzy egzosomami wyizolowanymi z obu linii komórkowych. Ponadto zaobserwowano, że egzosomy pochodzące z komórek PC3 poddanych działaniu promieniowania X indukują efekt sąsiedztwa w komórkach nienapromienionych, co potwierdza ich udział w przekazywaniu sygnałów odpowiedzi na napromienianie [2].

Promieniowanie jonizujące uszkadza DNA w komórkach, a poznanie mechanizmów powstawania tych uszkodzeń (zarówno w sposób bezpośredni, jak i pośredni) jest kluczowe dla radioterapii. Wyniki omawianego projektu poszerzają wiedzę na temat modulacji promieniowrażliwości i wskazują na potencjalne zastosowanie egzosomów w optymalizacji metod radioterapeutycznych.

[1] Jayakumar, S., Kunwar, A., Sandur, S.K., Pandey, B.N. & Chaubey, R.C. (2014). Differential response of DU145 and PC3 prostate cancer cells to ionizing radiation: role of reactive oxygen species, GSH and Nrf2 in radiosensitivity. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, *1840*(1), 485–494.
[2] Pszczółkowska-Kępa, B., Olejarz, W., Głuszko, A., Wałpuski, G., Lorenc, T. & Brzozowska, B. (2025). Exosome-mediated modulation of radioresistance: The radiation-induced bystander effect in prostate cancer cells. *PLoS One*, *20*(8), e0330501.

Dokładność obliczania dawki na obrazach CBCT z populacyjnymi i fantomowymi krzywymi kalibracyjnymi – badanie wstępne na fantomie w perspektywie zastosowania CBCT w radioterapii adaptacyjnej

Urszula Sobocka-Kurdyk[1], Marta Paluszyńska[1], Bartosz Pawałowski[1], Patrycja Borowska[1]

[1] Wielkopolskie Centrum Onkologii

Cel: Ocena dokładności obliczania dawki na obrazach tomografii komputerowej wiązki stożkowej (CBCT) z użyciem krzywych kalibracyjnych HU-PD (ang. *Physical Density*) wyznaczonych bezpośrednio z obrazów CBCT pacjentów (tzw. krzywych populacyjnych) oraz porównanie ich z krzywymi wyznaczonymi na fantomie. Analizę przeprowadzono dla standardowego detektora kV systemu obrazowania OBI akceleratora TrueBeam (Varian).

Materiał i metody: Krzywe populacyjne HU-PD wyznaczono dla dwóch lokalizacji (głowa, miednica) na podstawie kohorty 10 pacjentów. Wartości HU zmierzono dla reprezentatywnych tkanek (mięsień, tłuszcz trzewny, powietrze, kość korowa, kość gąbczasta) o znanych z literatury wartościach gęstości fizycznej. Dla każdej tkanki przyjęto średnią wartość HU z kohorty. Krzywe rozszerzono o materiały wysokogęstościowe występujące

u pacjentów: endoprotezę tytanową (miednica) i wypełnienie amalgamatowe (głowa). Jako odniesienie posłużyły krzywe wyznaczone na fantomie Catphan 604 oraz krzywa tomografii komputerowej (CT) z systemu planowania leczenia. Na obrazach CBCT i CT fantomu Catphan 604 obliczono plany pola otwartego i łuku modulowanego (algorytm Acuros XB, siatka 2,5 mm). Rozkłady dawki porównano z referencją obliczoną na CT w zakresie: dawki w punkcie referencyjnym, dawki średniej w obszarach zainteresowania (VOI) oraz lokalnej analizy gamma 3D o kryteriach 1%/1 mm.

Wyniki: Różnice dawek średnich w VOI względem referencji CT dla krzywej populacyjnej wyniosły dla tkanek maks. 1,65% (średnio 1,27%) – głowa i maks. 0,75% (średnio 0,50%) – miednica; dla przestrzeni powietrznych do 3,75% (głowa) i 1,78% (miednica). Różnice dawki w punkcie referencyjnym: +1,43% (głowa), +0,71% (miednica). Dla uniwersalnej krzywej fantomowej odchylenia były mniejsze: dla tkanek maks. 1,24% (średnio 0,73%) – głowa i 0,80% (średnio 0,49%) – miednica; w punkcie referencyjnym +1,00% i +0,64%. Zgodność gamma rozkładów obliczonych z krzywą populacyjną i fantomową wyniosła 99% dla protokołu obrazowania miednicy oraz 85% dla protokołu obrazowania głowy (gamma lokalna, 1%/1 mm). Wyniki dla obu lokalizacji różnią się zgodnością dozymetryczną. W obrazowaniu miednicy oba podejścia dają rozkłady równoważne, natomiast w obrazowaniu głowy krzywa populacyjna prowadzi do rozkładu istotnie odmiennego od uzyskanego z krzywą fantomową. Rozbieżność ta odpowiada dużemu rozrzutowi międzyosobniczemu HU w protokole obrazowania głowy – dla kości korowej zakres wyniósł od 937 do 1641 HU przy średniej 1379 HU.

Wnioski: Krzywe populacyjne HU-PD wyznaczone z obrazów CBCT pacjentów umożliwiają obliczanie dawki na obrazach CBCT z różnicami względem referencji CT poniżej 2% dla materiałów tkankopodobnych. Równoważność obu podejść potwierdzono jedynie dla protokołu obrazowania miednicy (zgodność gamma 99%); dla protokołu obrazowania głowy rozkłady różnią się istotnie dozymetrycznie (zgodność gamma 85%), co wiąże się z dużą zmiennością międzyosobniczą HU tkanki kostnej. Potencjalną zaletą podejścia populacyjnego jest objęcie kalibracją zakresu implantów, jednak wiarygodność HU metali w CBCT ograniczają artefakty, a dokładność dozymetryczna w tym zakresie nie była przedmiotem walidacji. Wyniki uzyskane na fantomie stanowią etap wstępny przed weryfikacją rozkładów dawki na obrazach rzeczywistych pacjentów.

Od próbki krwi do widma spektroskopowego: czy chemioradioterapia pozostawia molekularny odcisk w strukturze albuminy pacjentów z nowotworami głowy i szyi? Badanie pilotażowe

Agnieszka Szkudlarek[1], Karolina Jezierska[2], Magdalena Łukowiak[3], Wojciech Żwierełło[4], Kinga Rybak[4], Piotr Rawojć[2], Michał Falco[5], Izabela Gutowska[4]

[1] Katedra i Zakład Farmacji Fizycznej, Wydział Nauk Farmaceutycznych w Sosnowcu, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach;
[2] Zakład Fizyki Medycznej, Wydział Farmacji, Biotechnologii Medycznej i Medycyny Laboratoryjnej, Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie;
[3] Zakład Fizyki Medycznej, Wydział Farmacji, Biotechnologii Medycznej i Medycyny Laboratoryjnej, Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie; Zakład Fizyki Medycznej Zachodniopomorskiego Centrum Onkologii;
[4] Zakład Chemii Medycznej, Wydział Farmacji, Biotechnologii Medycznej i Medycyny Laboratoryjnej, Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie;
[5] Oddział Kliniczny Radioterapii, Zachodniopomorskie Centrum Onkologii w Szczecinie

Albumina surowicy ludzkiej (HSA) jest najobficiej występującym białkiem osocza i jego głównym białkiem transportowym. Wiąże liczne substancje endogenne i egzogenne, w tym leki. Zmiany struktury HSA mogą wpływać na stopień wiązania substancji leczniczych, ich dystrybucję oraz udział wolnej frakcji dostępnej dla tkanek, a w konsekwencji na skuteczność i bezpieczeństwo farmakoterapii. Chemioradioterapia (CRT) może nasilać stres oksydacyjny i sprzyjać modyfikacjom białek osocza. HSA może zatem nie tylko uczestniczyć w transporcie leków stosowanych podczas terapii, lecz także sama ulegać modyfikacjom chemicznym i zmianom strukturalnym.

Celem pracy była ocena wczesnych zmian struktury II-rzędowej HSA i mikrośrodowiska jej reszt aromatycznych oraz zmian fluorescencji w zakresie charakterystycznym dla zaawansowanych produktów glikacji (fAGEs) u pacjentów z nowotworami głowy i szyi poddawanych CRT. W badaniu pilotażowym porównano HSA wyizolowaną z próbek surowicy pobranych od pięciu pacjentów przed rozpoczęciem leczenia i po drugim cyklu CRT. Strukturę II-rzędową makrocząsteczek oceniano techniką dichroizmu kołowego w zakresie *far*-UV CD. Mikrośrodowisko reszt tyrozylowych (Tyr) i reszty tryptofanylowej (Trp-214) albumin badano na podstawie fluorescencyjnych widm emisyjnych rejestrowanych dla λ_{ex} = 275 i 295 nm, widm synchronicznych dla $\Delta\lambda$ = 15 i 60 nm oraz analizy efektu *Red-Edge Excitation Shift* (REES). Fluorescencję fAGEs analizowano dla λ_{ex} = 335 i 370 nm oraz widm wzbudzeniowych rejestrowanych dla λ_{em} = 440 nm.

Uzyskane wyniki wykazały: (i) analiza *far*-UV CD ujawniła zróżnicowane osobniczo zmiany struktury II-rzędowej HSA; po drugim cyklu CRT u trzech z pięciu pacjentów stwierdzono zmniejszenie udziału α-helisy, któremu towarzyszył wzrost udziału struktur typu turn i struktur nieuporządkowanych, podczas gdy udział struktur β pozostał zasadniczo niezmieniony; kierunek zaobserwowanych zmian może wskazywać na tendencję do niewielkiego zmniejszenia uporządkowania struktury II-rzędowej HSA, jednak ich zróżnicowanie osobnicze nie pozwala wnioskować o jednolitej ani rozległej reorganizacji struktury HSA pod wpływem CRT; (ii) po drugim cyklu CRT u czterech z pięciu pacjentów odnotowano wzrost intensywności fluorescencji HSA

dla λ_{ex} = 275 i 295 nm; wzrost intensywności fluorescencji przy stabilnym położeniu maksimum emisji Trp-214 może wskazywać na zmiany lokalnej organizacji struktury III-rzędowej HSA i osłabienie wygaszania wewnątrzcząsteczkowego, bez wyraźnej zmiany polarności mikrośrodowiska tej reszty; brak wspólnego kierunku zmian efektu REES wskazuje natomiast na osobniczo zróżnicowane zmiany właściwości jej otoczenia; (iii) wzrost intensywności fluorescencji dla $\Delta\lambda$ = 15 nm u wszystkich pięciu pacjentów sugeruje zmiany mikrośrodowiska reszt Tyr HSA; (iv) u wszystkich badanych pacjentów zaobserwowano również wzrost fluorescencji w zakresie charakterystycznym dla fAGEs, co może wskazywać na nasilenie glikooksydacyjnych modyfikacji HSA i zwiększenie udziału fluorescencyjnych produktów tych modyfikacji już we wczesnej fazie CRT.

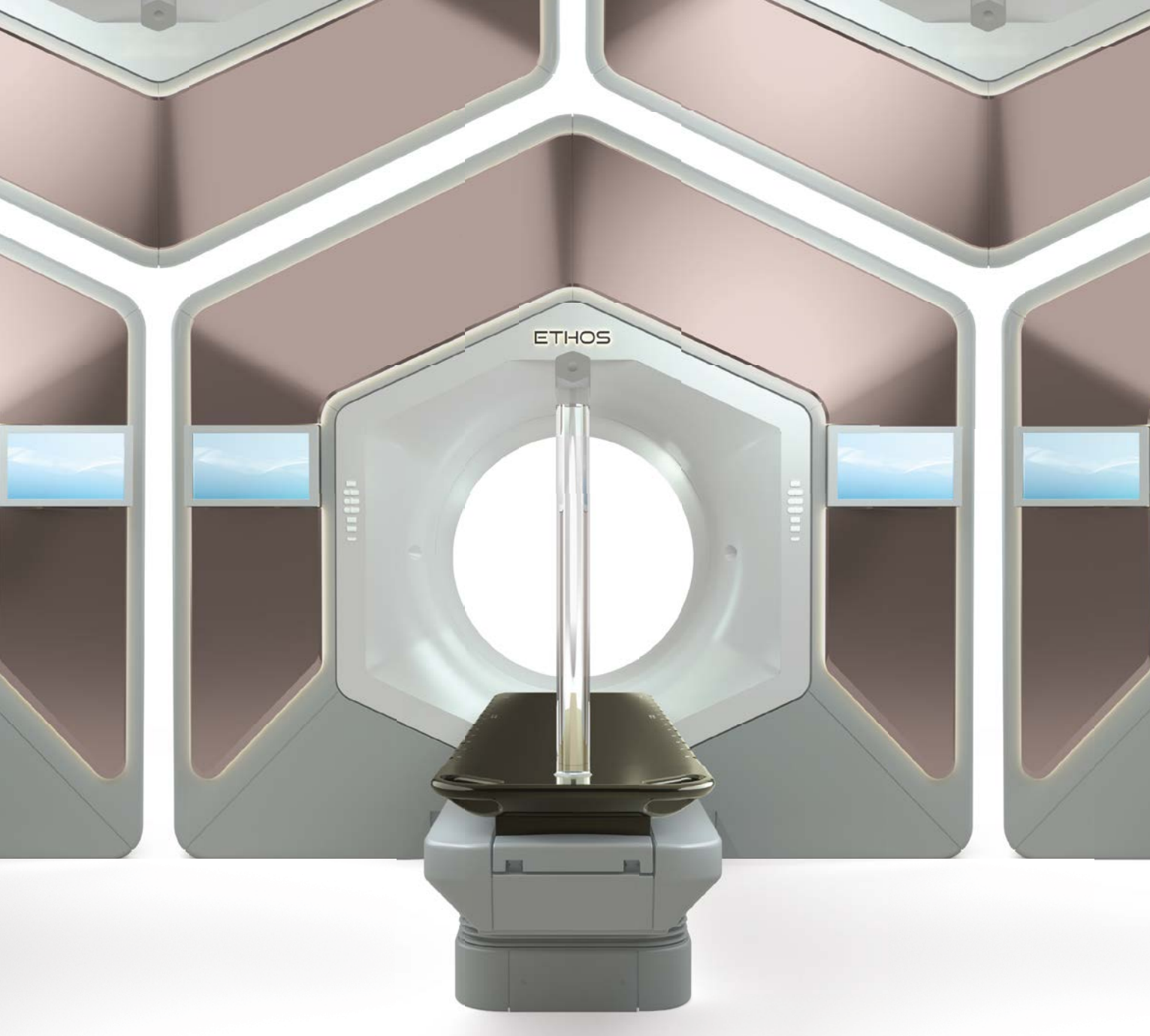
Wstępne wyniki wskazują, że już po drugim cyklu CRT mogą występować zróżnicowane osobniczo zmiany struktury HSA i mikrośrodowiska jej reszt aromatycznych, którym towarzyszy wzrost fluorescencji w zakresie charakterystycznym dla produktów modyfikacji glikooksydacyjnych. Zmiany te mogą wpływać na funkcję transportową HSA, a tym samym na wiązanie leków oraz skuteczność i bezpieczeństwo farmakoterapii; hipoteza ta wymaga jednak bezpośredniej weryfikacji w badaniach właściwości wiążących albuminy oraz kontynuacji obserwacji w kolejnych cyklach CRT.

Podziękowania: Projekt został dofinansowany przez Górnośląsko-Zagłębiowską Metropolię w ramach Programu „Metropolitalny Fundusz Wspierania Nauki" na podstawie umowy nr RW/53/2026 z dnia 10.04.2026 r. oraz ze środków Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach (umowa nr BNW-1-067/K/5/F).

Notatki

Notatki

Notatki



The more efficient, flexible, personal

& intelligent way to outsmart cancer.

With Ethos therapy, you can adapt treatment plans daily while transforming your cancer fight completely.

Ethos therapy is our AI-driven holistic solution that lets you choose the most appropriate treatment option based on daily changes in patient anatomy. It also delivers an entire adaptive treatment in a typical 15-minute timeslot, from setup through delivery. Redefine how you fight cancer—experience Ethos therapy at varian.com/ethos today.

Safety Information: Radiation may cause side effects and may not be appropriate for all cancers.

© 2020-2025 Varian Medical Systems, Inc. VARIAN, and ETHOS are trademarks of Varian Medical Systems, Inc., pending or registered U.S. Pat. & Tm. Off.

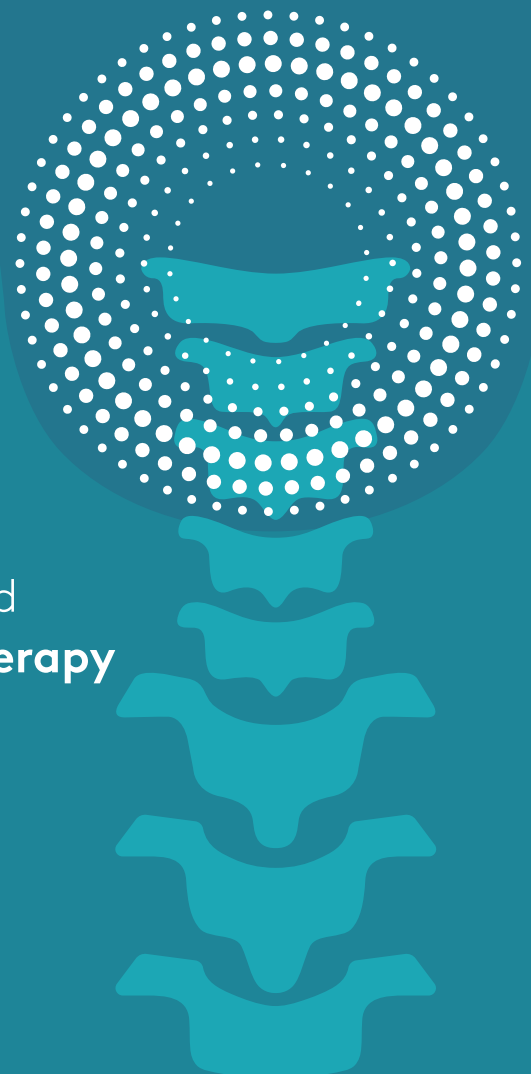
varian
A Siemens Healthineers Company

ETHOS

TARGET. ADAPT. TREAT.

Get ahead

of the changes



As patients change during head and neck treatment, **adaptive radiotherapy adjusts** to help protect swallowing, speech and breathing.

Nobody does adaptive like Elekta

Elekta

elekta.com/head-and-neck