

Rezonans magnetyczny MR 7700 z systemem gradientowym XP – idealna platforma 3T dla ośrodków uniwersyteckich i naukowych

Weronika Kubarek

Philips

Znaczenie obrazowania rezonansem magnetycznym wciąż rośnie, a producenci stale prześcigają się w coraz to nowszych metodach skrócenia czasu skanowania i rekonstrukcji obrazów oraz na poprawie jakości i powtarzalności badań. W niniejszym artykule przybliżony zostanie nowy, unikatowy układ gradientowy XP wykorzystany w systemie MR 7700, zapewniający najwyższą precyzję i wydajność obrazowania.

Zaprezentowany na Kongresie RSNA 2021 system MR 7700 jest najnowszym i najbardziej zaawansowanym systemem 3T w katalogu Philips. MR 7700 wyróżnia się przede wszystkim zintegrowaną opcją spektroskopii multinukleinowej, co jest absolutną nowością w świecie rezonansu magnetycznego i po raz pierwszy pozwala na szerokie wykorzystanie tej techniki obrazowania w codziennej diagnostyce pacjentów. Informacje na ten temat można znaleźć we wcześniejszym wydaniu IIFM.

Warto także bliżej przyjrzeć się nowemu modelowi systemu gradientowego. Gradienty XP charakteryzują się amplitudą

o wartości 65 mT/m i szybkością narastania 220 T/m/s, należy jednak pamiętać, że z punktu widzenia oczekiwań użytkowników systemów MR przeznaczonych do najbardziej zaawansowanych badań, ważne są nie tylko jego maksymalne osiągi, ale również precyzja działania. W przypadku szpitali uniwersyteckich i ośrodków prowadzących badania naukowe, często absolutnym priorytetem jest powtarzalność i najwyższa pewność diagnostyczna.

Dokładność układu gradientowego

Zakłócenia powodujące zniekształcenia i obniżenie jakości obrazowania rezonansem magnetycznym są w dużej mierze powodowane przez prądy wirowe, indukowane w wyniku oddziaływania przewodników w zmiennym polu magnetycznym. Powstające prądy wirowe mogą być krótkotrwałe, trwające około 2 ms, lub długotrwałe, trwające nawet ponad 50 ms. Czas zależy od konfiguracji systemu rezonansu magnetycznego. Oprócz obniżenia jakości obrazowania prądy wirowe powodują



Ryc. 1 Porównanie obrazowania na różnych systemach 3T firmy Philips
Źródło: Własne.

również emisję energii wewnątrz kriostatu, co skutkuje odparowywaniem helu i niepożądanym wzrostem ciśnienia. Częściową odpowiedzią na te problemy jest zastosowanie ekranowanych cewek gradientowych, posiadających dwie warstwy umieszczone w ściśle określonej odległości od siebie. Zewnętrzna warstwa wykorzystywana jest w celu zminimalizowania wpływu prądów wirowych na magnes. Jest to rozwiązanie występujące w większości projektów systemu cewek gradientowych i koncentruje się ono na zmniejszeniu „wycieku” pola gradientowego poza warstwę zewnętrzną. Natomiast w nowym systemie gradientowym, zastosowanym w MR 7700, główna uwaga jest skupiona na minimalizacji oddziaływania prądów wirowych poprzez przededefiniowanie kontrolnych punktów znajdujących się w obszarze oddziaływania gradientów. W procesie optymalizacji zostały uwzględnione wszystkie właściwości elektromagnetyczne systemu, w tym shimming wyższego rzędu znajdujący się pomiędzy warstwami cewki gradientowej. Takie rozwiązanie zapewnia większą dowolność w projektowaniu konstrukcji systemu, umożliwiając osiągnięcie lepszej dokładności i wyższych wartości parametru Grms.

Liniość otrzymanego pola gradientowego zależy nie tylko od zastosowanego rozwiązania, ale przede wszystkim od precyzji konstrukcji cewek gradientowych i ich wykonania. Tradycyjnym podejściem do wytwarzania cewek gradientowych z przewodnikiem jest metoda „nawijania drutu”. Oczywistym ograniczeniem tej metody są fizyczne możliwości wygięcia

miedzianego przewodnika w odpowiedni kształt. W systemach Ingenia Elition X i MR 7700 wykorzystane są cewki wykonane z miedzianych blach obrabianych w procesie cięcia wodnego, najprecyzyjniejszej metodzie obróbki metalu, gwarantującej najwyższą dokładność i powtarzalność wykonania.

System wykorzystuje 6 warstw gradientowych i 5 warstw shimmingu wyższego rzędu. Daje to 11 warstw wycentrowanych w procesie produkcji w celu zminimalizowania wpływu prądów wirowych.

System gradientowy jest jednym z wielu modułów rezonansu magnetycznego i jego działanie jest zależne od otaczających go komponentów. W przypadku aparatów Ingenia Elition X i MR 7700 kluczowym elementem integrującym jest system akwizycji danych dSync, który można porównać do centralnego układu nerwowego rezonansu magnetycznego. Jest to rozproszony system cyfrowy, który nadzoruje i kieruje pracą poszczególnych modułów tak, aby osiągnąć efekt jak najbardziej zbliżony do działania w czasie rzeczywistym. Zbieranie informacji o czasie generowania pola gradientowego i przekazywanie ich do wzmacniacza w formacie cyfrowym przez światłowód zajmuje zaledwie 100 ns. Taka dokładność czasowa umożliwia precyzyjne sterowanie i poprawę dokładności poprzez wykorzystanie dostępnych informacji, takich jak: szczątkowe prądy wirowe i kompensacja krzyżowa. Wykorzystanie cyfrowej preemfazy wraz z precyzyjną konstrukcją pozwalają zredukować prądy wirowe praktycznie do zera. W systemach Ingenia Elition X i MR 7700 dokładność gradientów wynosi 99,97%, co gwarantuje odchylenie mniejsze niż 0,03% od zamierzonego pola gradientowego przez cały okres pomiaru gradientu.

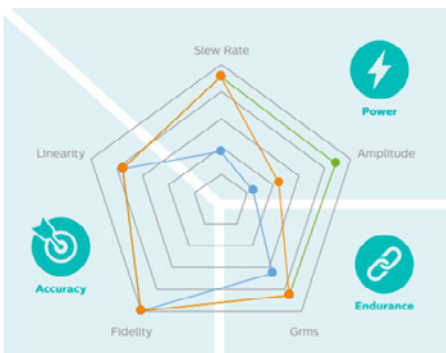
Wytrzymałość gradientów

Poza dokładnością gradientów istotnym parametrem jest ich wytrzymałość, zdefiniowana jako zdolność do utrzymywania wysokiej wartości przez długi czas, czyli wykorzystania maksymalnej amplitudy i szybkości narastania w przypadku długich, wysokoenergetycznych sekwencji. Przykładem takiego badania jest akwizycja DTI trwająca nawet 10 minut.

Wytrzymałość gradientów zależy przede wszystkim od efektywności cewki gradientowej, natomiast jej wydajność zależy od amplitudy gradientu G_{max} , szybkości narastania SR_{max} i parametrów prądu:

$$\varepsilon \approx \frac{G_{max} \cdot SR_{max}}{I_{max} \cdot U_{max}}$$

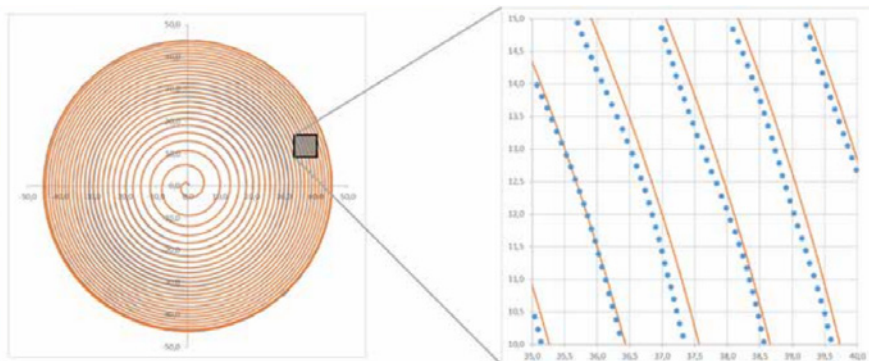
System gradientowy jest tym bardziej wydajny, im większa jest maksymalna amplituda gradientu i szybkość narastania, co jest możliwe do osiągnięcia za pomocą wysokiej efektywności cewki gradientowej.



	Elition S	Elition X	MR 7700
Slew Rate (T/m/s)	160	220	220
Amplitude (mT/m)	36	45	65
G_{max} (mT/m)	23	27	27
Fidelity (%)	99,97	99,97	99,97
Linearity (%)	97,6	97,6	97,6

—●— Elition S —●— MR 7700
—●— Elition X

Ryc. 2 Porównanie najważniejszych parametrów systemów 3 T firmy Philips
Źródło: Materiały własne firmy Philips.



Ryc. 3 Wizualizacja uzyskiwanej dokładności. Żądana wartość – linia czerwona, zmierzona wartość – niebieska linia przerywana
Źródło: Materiały własne firmy Philips.

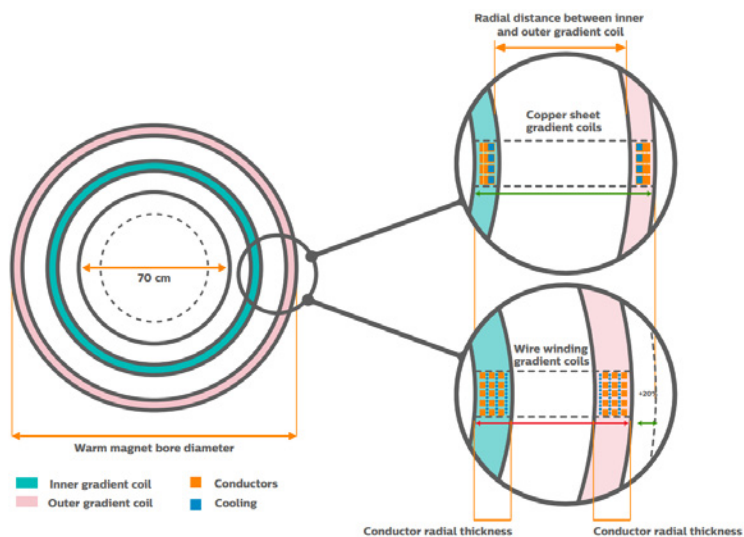
Jednym z czynników gwarantujących wysoką efektywność cewki gradientowej jest określona odległość pomiędzy zewnętrzną a wewnętrzną warstwą cewki. Im większa przerwa między warstwami, tym większa jest efektywność cewki. Zwiększenie odległości o 2 cm powoduje nawet 20% wzrost wydajności energetycznej. Możliwa do uzyskania odległość jest ograniczona planowaną średnicą otworu rezonansu magnetycznego (zazwyczaj 70 cm) oraz rozmiarem samego magnesu. Systemy Ingenia Elition X i MR 7700 posiadają dużą średnicę wewnętrzną magnesów w celu umożliwienia zwiększenia odległości między warstwami cewki. Powoduje to wzrost kosztów produkcji magnesu, lecz uzyskana tym sposobem poprawa efektywności cewki gradientowej zmniejsza koszty budowy wzmacniacza gradientowego i układu chłodzącego.

Zwiększenie odległości można również uzyskać poprzez zastosowanie cieńszych warstw laminatu pokrywanego miedzią powłoką. Taka zmiana w konstrukcji cewki gradientowej pozwala na zwiększenie jej efektywności, co przekłada się na większą wydajność gradientów.

Wysoka wydajność układu gradientowego gwarantuje niską dyssypację energii. Dzięki temu system nie wymaga tak wydajnego układu chłodzącego przy zdolności do znoszenia wysokich amplitud przez długi czas. Wydajność gradientów jest opisywana za pomocą parametru Grms, czyli średniej kwadratowej amplitudy gradientu.

Wysoka wartość parametru Grms nie jest wymagana w przypadku ponad 90% przeprowadzanych badań, wystarczającą jest wtedy wartość Grms = 17 mT/m. Jedynie w przypadku 2% protokołów jest wymagana wartość powyżej 25 mT/m. Protokoły i sekwencje, w których wykorzystuje się wysokie wartości parametru Grms, to: dyfuzja, eThrive, SWIP i mFFE. Wartość amplitudy oraz szybkości narastania jest również kluczowa w przypadku badań wymagających osiągnięcia wysokiej rozdzielczości przestrzennej.

Parametr Grms koreluje z rozpraszaniem ciepła w cewce gradientowej, co przekłada się na wytrzymałość gradientów. W systemie Ingenia Elition X wartość Grms = 27 mT/m może być utrzymywana przez długi czas. Możliwe są także wyższe wartości do

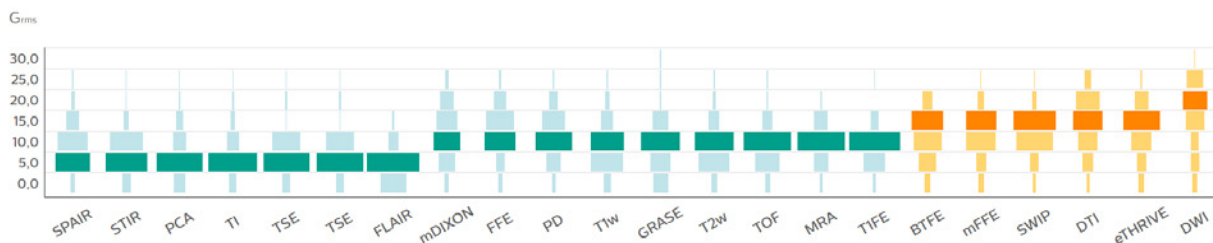


Ryc. 4 Konstrukcja cewki gradientowej z przedstawieniem odległości pomiędzy warstwą wewnętrzną a zewnętrzną
Źródło: Materiały własne firmy Philips.

uzyskania, jednak są one ograniczone czasowo i skutkują interwencją systemu chłodzącego, powodującą obniżenie wydajności obrazowania. Nowy zaawansowany system firmy Philips umożliwia optymalizację wszystkich akwizycji w czasie rzeczywistym w taki sposób, aby nie wywołać interwencji układu chłodzącego i w efekcie końcowym umożliwić wykonanie badania bez przeszkód.

Przemyślany projekt układu gradientów i zapewnienie właściwych relacji w funkcjonowaniu cewek i wzmacniacza ma wpływ na konstrukcję i prawidłowe działanie wszystkich komponentów rezonansu magnetycznego. System gradientów XP jest gwarancją wysokiej precyzji działania, zdolności do długotrwałego zapewnienia liniowej charakterystyki (nawet przy dużych obciążeniach w całym polu obrazowania), bez zakłóceń spowodowanych indukowanymi prądami wirowymi.

Dokładny, wydajny i wytrzymały układ gradientowy zwiększa możliwości obrazowania rezonansu magnetycznego i pozwala na precyzyjne oraz powtarzalne wykonywanie badań z wykorzystaniem wszystkich sekwencji obrazowania, w szczególności tych najbardziej wymagających.



Ryc. 5 Średnia wartość parametru Grms w zależności od sekwencji badania w systemie Ingenia Elition X
Źródło: Materiały własne firmy Philips.