

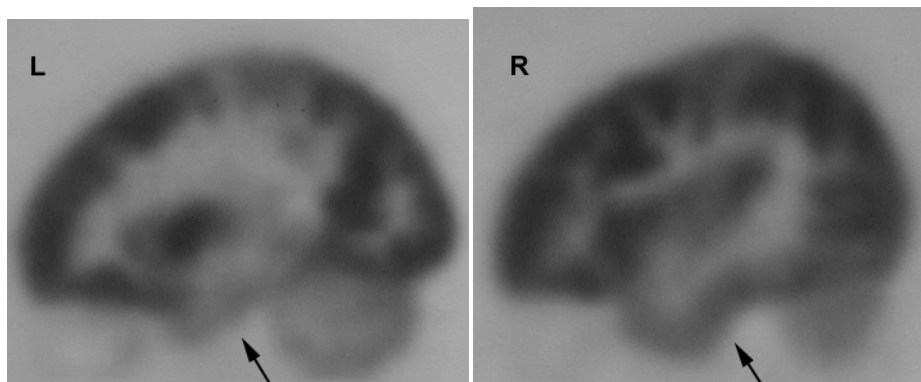
Obrazowanie funkcjonalne

Tłumaczenie: Jacek Jaworski

Wiele technik obrazowych pozwala łączyć rozdzielczość przestrzenną z informacjami funkcjonalnymi uzyskanymi w czasie specyficznych aktywności mózgu. Należą do nich: pozytronowa tomografia emisyjna (*positron emission tomography* – PET), tomografia komputerowa emisji pojedynczego fotonu (*single photon emission computed tomography* – SPECT) oraz inne techniki obrazowania medycyny nuklearnej, a także funkcjonalne obrazowanie MR (*functional MRI* – fMRI) i spektroskopia rezonansu magnetycznego (*magnetic resonance spectroscopy* – MRS). Inne techniki neuroobrazowania funkcjonalnego, tzn. wielokanałowa elektroencefalografia (EEG), magnetoencefalografia (MEG) i bliskie podczerwieni obrazowanie spektroskopowe (*near infrared spectroscopic imaging* – NIRSI) nie są omawiane w niniejszym rozdziale.

■ Tomografia komputerowa emisji pojedynczego fotonu

SPECT jest tomograficzną techniką obrazowania medycyny nuklearnej, w której pacjentom, zwykle dożylnie, podaje się radionuklidy emitujące promieniowanie gamma. SPECT wykonuje się przy użyciu wielogłowicowej gamma-kamery, rotującej wokół pacjenta, dzięki której uzyskuje się obrazy pod różnymi kątami. Następnie wdrażany jest komputerowy algorytm rekonstrukcji tomograficznych, dzięki któremu otrzymuje się dane trójwymiarowe. Dane te poddawane są obróbce w celu uzyskania obrazów w cienkich warstwach, w dowolnie wybranej płaszczyźnie ciała, podobnie do obrazów uzyskiwanych w innych technikach tomograficznych, na przykład obrazowanie MR czy TK. W obrazowaniu funkcjonalnym mózgowia stosuje się radioznacznik ^{99m}Tc -HMPAO (heksametylopolipropyleno-amino-oksym), który gromadzi się w mózgu proporcjonalnie do mózgowego przepływu krwi. Pozwala on zatem obrazować miejscowy rozkład metabolizmu mózgowego i zużycie energii. W neurologii pediatrycznej SPECT jest najczęściej stosowany w celu wykrywania ogniskowego pochodzenia napadów padaczkowych. Ognisko padaczkowe cechuje się typowo zredukowaną aktywnością metaboliczną w okresie międzynaпадowym i zwiększoną aktywnością metaboliczną podczas napadu padaczkowego w porównaniu z pozostałymi strukturami mózgowia (ryc. 2.6.1).



RYCINA 2.6.1. Badanie SPECT u dziecka z padaczką skroniową. Obniżenie aktywności widoczne w lewym płacie skroniowym (L, strzałka) w porównaniu z prawidłowym prawym płatem skroniowym (R, strzałka).

■ Scyntygrafia MIBG (meta-jodobenzylguanidyna)

Scyntygrafia MIBG polega na dożylnym podawaniu środka znakowanego technetem 99m , który jest wychwytywany preferencyjnie przez komórki neuroendokrynne. Znajduje zastosowanie szczególnie w diagnostyce neuroblastoma. Objawami guzów wywodzących się z grzebienia nerwowego są różnorodne zespoły paraneoplazmatyczne obejmujące układ nerwowy, np. zespół opsoklonii-mioklonii, ataksja mózdkowa i zespoły podwzgórzowe (patrz: Przypadki kliniczne – rozdz. 2.6.1).

■ Pozytronowa tomografia emisyjna

PET polega na podaniu pacjentowi radioaktywnego znacznika, a następnie określeniu jego rozkładu dzięki detekcji emitowanego promieniowania gamma. Zarówno radioznacznik, jak i aparat są całkowicie różne od stosowanych w innych odmianach obrazowania izotopowego. W PET stosuje się radioizotopy, które podlegają rozpadowi z emisją pozytronu (znanego również pod nazwą dodatniego rozpadu beta). Po przebyciu drogi długości do kilku milimetrów pozytrony zderzają się z elektronami i ulegają anihilacji, co prowadzi do powstania pary fotonów gamma poruszających się w przeciwnych kierunkach. Technika polega na jednoczesnej lub koincydentalnej detekcji pary fotonów. W neurologii najczęściej stosowanym nuklidem jest fluoryt-18 fluorodeoksyglukoza (FDG), określanej jako FDG-PET. Znacznik ten jest analogiem glukozy, a zatem środkiem pozwalającym na obrazowanie regionalnego wychwytu glukozy w mózgowiu. To z kolei oznacza, że uzyskuje się obrazy względnej mózkowej aktywności metabolicznej. Podobnie jak w SPECT, w neurologii pediatrycznej PET jest najczęściej stosowany w detekcji ognisk padaczkowych. Cechują się one zwykle zredukowaną aktywnością metaboliczną i zredukowanym wychwytem glukozy oraz FDG-PET w okresie międzynapadowym, natomiast zwiększonym wychwytem glukozy w czasie napadu.

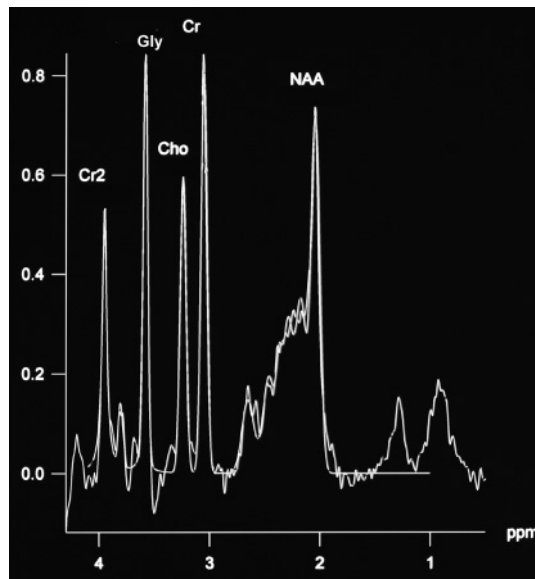
Badanie SPECT wymaga zastosowania gamma-kamery i radionuklidów znaczonych technetem, dostępnych w większości szpitali. Natomiast badanie PET wymaga znacznie

droższych technologii, w tym bliskości cyklotronu niezbędnego w produkcji znaczników emitujących pozytron.

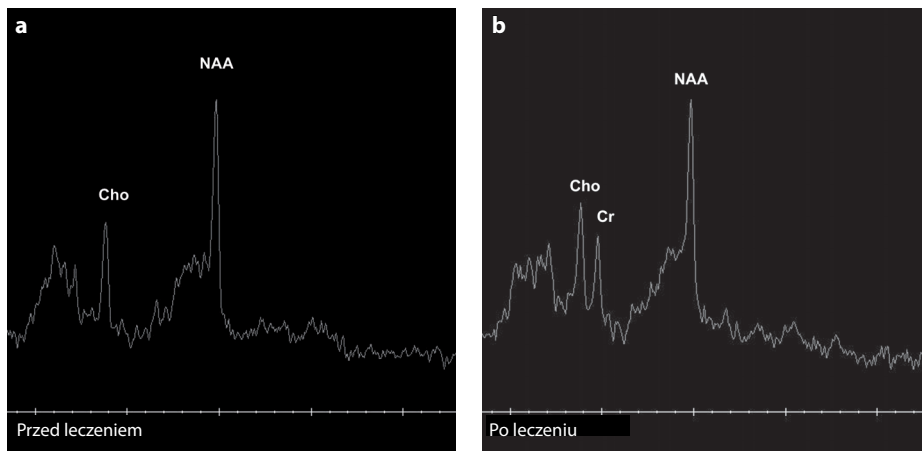
Spektroskopia rezonansu magnetycznego

Za pomocą MRS przeprowadza się pomiar stężenia poszczególnych metabolitów w wybranej lokalizacji w mózgowiu. Niestety liczba metabolitów poddających się ocenie jest ograniczona. Najczęściej stosuje się protonową spektroskopię rezonansu magnetycznego (H-MRS). Przy użyciu tej metody uzyskać można informacje diagnostyczne, takie jak na przykład obecność sygnału glicyny w encefalopatii glicynowej (ryc. 2.6.2), nieobecność sygnału kreatyny w zespołach niedoboru mózgowej kreatyny (ryc. 2.6.3) lub charakterystyczne zwiększenie sygnału NAA w chorobie Canavana (ryc. 2.6.4). Ponieważ niektóre zespoły niedoboru kreatyny poddają się leczeniu (rozdz. 3.23), w odpowiednim kontekście klinicznym nie należy rezygnować z wykonania H-MRS.

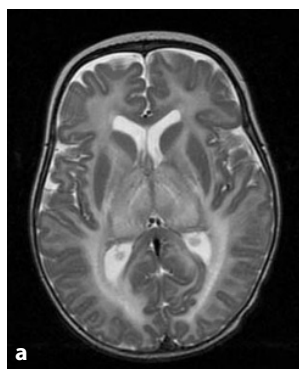
H-MRS może również dostarczyć użytecznych, lecz w mniejszym stopniu swoistych informacji, jak na przykład obecność sygnału mleczanów w mózgowiu. W klinicznym kontekście encefalopatii niedotlenieniowo-niedokrwiennej wykrycie mleczanów stanowi wskaźnik złego rokowania. Poza przypadkami ostrego niedokrwienia, wykrycie sygnału mleczanów w mózgu dziecka może wskazywać na chorobę mitochondrialną (ryc. 2.6.5) lub zespół Aicardię-Goutièresa. Zwiększenie sygnału mleczanów stanowi specyficzny element rozpoznania niedoboru mitochondrialnej syntetazy aspartył-tRNA.



RYCINA 2.6.2. MRS u donoszonego noworodka z drgawkami. Badanie wykonane w 2. dniu życia pokazuje nieprawidłowy sygnał 3,56 ppm, odpowiadający sygnałowi glicyny (Gly). Stężenie glicyny w osoczu było również podwyższone. Rozpoznano encefalopatię glicynową. (Cr i Cr2 = kreatyna, Cho = cholina, NAA = N-acetylo-asparaginian).



RYCINA 2.6.3. Badanie MRS u 13-letniej dziewczynki z opóźnieniem rozwoju, wykonane z powodu niedoboru GAMT u starszej siostry. **(a)** Brak sygnału kreatyny przy 3,04 ppm. **(b)** Powtórne badanie wykonane 4 miesiące później po leczeniu jednowodzianem kreatyny wykazało obecność sygnału kreatyny. (Cho = cholina, NAA = N-acetylo-sparaginian, Cr = kreatyna).



RYCINA 2.6.4. Chłopiec w wieku 6 miesięcy z utratą zdolności ruchowych i trudnościami w karmieniu. **(a)** Badanie MRI w sekwencji T2-zależnej pokazuje nieprawidłowy obraz istoty białej i wzgórza. **(b)** MRS pokazuje charakterystyczny wysoki sygnał N-acetylo-asparaginianu. **(c)** Dla porównania MRS zdrowego 6-miesięcznego dziecka. Należy zwrócić uwagę na wysokości sygnałów w porównaniu z (b). (Cho = cholina, Cr = kreatyna, NAA = N-acetylo-asparaginian).

