

Multifraktalny mózg a wczesne fazy stwardnienia rozsianego

14 kwietnia 2024

Sygnały elektryczne mózgu u chorych ze stwardnieniem rozsianym, chorobą związaną ze spowolnionym przetwarzaniem informacji i brakiem koordynacji ruchowej, wykazują ślady multifraktalności – ustalili naukowcy z czterech polskich instytucji badawczych.

Multifraktalne analizy sygnałów elektrycznych płynących z mózgu mogą pomóc we wczesnym ustaleniu stopnia zaawansowania choroby – wykazali naukowcy realizujący projekt „Biologicznie inspirowane sieci neuronowe” Fundacji na rzecz Nauki Polskiej. W badaniu brali udział eksperci z Uniwersytetu Jagiellońskiego (UJ), Politechniki Krakowskiej, Uniwersytetu SWPS (USWPS) w Katowicach oraz Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie, gdzie przeprowadzono analizy multifraktalne.

Na etapie analizy fraktalnej specjaliści z IFJ PAN zauważyli, że sygnały elektryczne płynące z mózgów osób zdrowych wykazują obecność pewnych długozakresowych trendów, co powoduje, że wykresy ich aktywności elektrycznej są wizualnie gładzsze niż u pacjentów ze stwardnieniem rozsianym, których mózgi wysyłają sygnały bardziej „poszarpane”. Lecz gdy w grę wchodzi multifraktale, sytuacja się zmienia: sygnały elektryczne emitowane przez mózgi ludzi zdrowych mają mniejszą złożoność niż u chorych. „U osób ze wstępnie rozwiniętym stwardnieniem rozsianym komunikacja między neuronami ma charakter bardziej złożony. Neurony nie są jednak w pełni od siebie niezależne, ponieważ nadal wspólnie odpowiadają za powstanie sygnału EEG, i dlatego obserwujemy splot fraktali – czyli multifraktale. Z kolei w przypadku grupy kontrolnej, z osobami zdrowymi, poszczególne komponenty fraktalne są bardziej regularne, lepiej się do siebie dopasowują i struktura multifraktalna

staje się trudniejsza do zauważenia” – stwierdził cytowany w materiale prasowym współautor pracy dr hab. Paweł Oświecimka z Zakładu Teorii Systemów Złożonych IFJ PAN.

Interpretację otrzymanych wyników przedstawił prof. dr hab. Tadeusz Marek z Wydziału Psychologii USWPS: „Obecność złożonej organizacji sygnałów u osób cierpiących na stwardnienie rozsiane może wskazywać na zachodzące w sieciach neuronowych mózgu procesy kompensacyjne. Mózg próbuje kompensować powstający w wyniku choroby deficyt i szuka dróg obejścia uszkodzonych obszarów, co prowadzi do reorganizacji sieci. Funkcje tych obszarów starają się przejąć inne, wciąż efektywnie pracujące grupy neuronów, co przejawia się we wzroście złożoności aktywności elektrycznej” – ocenił profesor. Prof. Marek podsumowując wyniki analiz multifraktałnych zapisów EEG podkreślił, że okazują się one być wysoce czułym narzędziem, pozwalającym na wykrywanie procesów kompensacyjnych występujących w sieciach neuronowych mózgu we wczesnej fazie rozwoju stwardnienia rozsianego.

Stwardnienie rozsiane to nieuleczalna choroba prowadząca do degeneracji ośrodkowego układu nerwowego, objawiająca się zaburzeniami ruchowymi i czuciowymi. Jej przebieg można tylko łagodzić, tym efektywniej, im wcześniej choroba zostanie wykryta.

Uczestników badań wybrali naukowcy i lekarze z Katedry Neurologii Collegium Medicum UJ oraz Kliniki Neurologii Szpitala Uniwersyteckiego UJ. Grupę ze zdiagnozowanym, wstępnie rozwiniętym stwardnieniem rozsianym ostatecznie zredukowano do 38 osób, a kontrolną do 27. Dane elektroencefalograficzne (EEG) zbierano kilkakrotnie w ciągu dwóch lat, za każdym razem angażując badanych w różne zadania.

Aktywność elektryczną mózgu mierzono za pomocą 256 elektrod próbkowanych tysiąc razy na sekundę każda. Przed właściwą analizą sygnały oczyszczano, usuwając na przykład efekty mrugnięcia oka. Połączono je w grupy odpowiadające 20 obszarom

mózgowym. „Sumaryczna ilość zgromadzonych danych jest tak duża, że wykonanie pełnego zestawu analiz multifraktałnych zajmie naszemu zespołowi lata. Dlatego artykuł, który właśnie opublikowaliśmy na łamach czasopisma Biomedical Signal Processing and Control, omawia wyłącznie odczyty zgromadzone podczas najwcześniejszej fazy pomiarów, dotyczące sytuacji, gdy badani zażywający jeden z dwóch przepisanych farmaceutyków nie wykonywali w trakcie pomiarów żadnych czynności” – mówi dr hab. Oświęcimka. Dodał, że poszukiwanie zależności o charakterze multifraktałnym jest wymagające obliczeniowo. Prace takie zaczęły się upowszechniać dopiero w ostatnich kilkunastu latach, wraz ze wzrostem mocy obliczeniowych komputerów i rozwojem oprogramowania. W efekcie w wielu obszarach aktywności naukowej multifraktale są dopiero na etapie „stawiania pierwszych kroków”.

„Jednym z takich obszarów jest analiza złożoności sygnałów elektrycznych emitowanych przez ludzki mózg, zwłaszcza w kontekście zachodzących w nim zmian degeneracyjnych” – tłumaczy dr hab. Oświęcimka. Wyjaśnia, że podstawową cechą „zwykłych” fraktali jest ich samopodobieństwo: powiększając je prędzej czy później zobaczymy strukturę bardzo podobną do początkowej lub wręcz identyczną. Natomiast gdy połączymy kilka fraktali, rezultatem na ogół będzie szum. Istnieją jednak takie operacje matematyczne, które splatają fraktale w struktury złożone zachowujące zdolność do samopodobieństwa. Przy czym w zwykłych fraktalach samopodobieństwo ujawnia się, gdy ich do wolny fragment skalujemy o czynnik dla danego fraktala zawsze stały, podczas gdy różne fragmenty multifraktali trzeba skalować w różny sposób. Cecha ta powoduje, że o ile analizy z użyciem zwykłych fraktali pozwalają wychwycić zależności liniowe, na przykład trendy, o tyle multifraktale potrafią ujawniać istnienie korelacji mniej oczywistych, nieliniowych.

Do oceny zaawansowania rozwoju stwardnienia rozsianego u chorych obecnie stosuje się badanie ankietowe, z natury bardzo

subiektywne. Badania bardziej obiektywne wymagają użycia rezonansu magnetycznego, są więc nie tylko inwazyjne, ale i wysoce kosztochłonne. Zdaniem zespołu naukowców, odkrycie zależności między stanem pacjenta a multifraktalną złożonością aktywności elektrycznej jego mózgu pozwoliłoby na ocenę obiektywną, za pomocą nieinwazyjnej, mało dla pacjenta uciążliwej i łatwej w stosowaniu techniki pomiarowej.

Wyniki opisane w artykule to pierwsza faza analiz sygnałów EEG zebranych podczas omawianego projektu naukowego, pozostałe dane elektroencefalograficzne są przetwarzane. Zakres badań był szerszy i obejmował także obrazowanie mózgu z użyciem strukturalnych i funkcjonalnych technik rezonansu magnetycznego. Ich efektem są serie zdjęć przedstawiających przekroje, na których podstawie można rekonstruować strukturę mózgu oraz zmiany ukrwienia i utlenowania jego różnych obszarów. Poszukiwania multifraktalnych zwiastunów stwardnienia rozsianego będą więc kontynuowane – już nie w jednym, lecz w czterech wymiarach.

Autorstwo: PAP

Źródło: NaukawPolsce.pl