



Kraków, 10 kwietnia 2024

Multifraktalna detekcja wczesnych faz stwardnienia rozsianego

O czym to mieliśmy poinformować? A!!! O badaniach nad złożonością sygnałów elektrycznych mózgu u chorych ze stwardnieniem rozsianym, chorobą kojarzoną głównie ze spowolnionym przetwarzaniem informacji i brakiem koordynacji ruchowej. Sygnały te zaczynają wykazywać ślady multifraktalności, wynika z projektu naukowego realizowanego z udziałem Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie. Odkrycie może doprowadzić do pełniejszego zrozumienia procesów zachodzących w mózgu oraz narodzin dokładniejszych metod diagnozowania stopnia zaawansowania 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. Obiecującym narzędziem do wczesnej detekcji stopnia zaawansowania tej neurologicznej choroby wydają się być multifraktalne analizy sygnałów elektrycznych płynących z mózgu, co właśnie wykazali naukowcy realizujący projekt „Biologicznie inspirowane sieci neuronowe” Fundacji na rzecz Nauki Polskiej, finansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego. Osiągnięcie jest wynikiem współpracy badaczy z czterech instytucji naukowych: 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.

„Poszukiwania zależności o charakterze multifraktalnym są wymagające obliczeniowo i 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”, wprowadza w zagadnienie dr hab. Paweł Oświęcimka z Zakładu Teorii Systemów Złożonych IFJ PAN.

Osoby do badań będących podstawą projektu zostały restrykcyjnie wyselekcjonowane przez naukowców i lekarzy 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 artefakty wywołane mrugnięciami oka, a także zgodnie z ogólnie przyjętą konwencją połączono w grupy odpowiadające 20 obszarom mózgowym.

„Summaryzna ilość zgromadzonych danych jest tak duża, że wykonanie pełnego zestawu analiz multifraktalnych zajmie naszemu zespołowi lata. Dlatego artykuł, który właśnie opublikowaliśmy na łamach czasopisma ‘Biomedical Signal Processing and Control’, omawia wyłącznie odczyty zgro-

madzone podczas najwcześniejszej fazy pomiarów, dotyczące sytuacji, gdy badani zażywający jeden z dwóch przepisanych farmaceutyków nie wykonywali w trakcie pomiarów żadnych czynności”, wyjaśnia dr Oświęcimka.

Podstawową cechą „zwykłych” fraktali jest ich samopodobieństwo: powiększając je prędzej czy później zobaczymy strukturę bardzo podobną do początkowej lub wręcz identyczną. A co się stanie, gdy w prosty sposób 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 dowolny 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.

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 gładkie 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 strukturalną niż u chorych.

„Wydaje się, że 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”, mówi dr Oświęcimka i dodaje: „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”.

Interpretację otrzymanych wyników przedstawia 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”.*

Prof. Marek podsumowując wyniki analiz multifraktalnych zapisów EEG podkreśla, że okazują się one być wysoce czułym narzędziem, pozwalającym na wykrywanie procesów kompensacyjnych występujących w sieciach neuronowych mózgu we wczesnej fazie rozwoju stwardnienia rozsianego.

Rezultaty prac zespołu fizyków z IFJ PAN to pierwszy krok na drodze do opracowania dokładniejszych technik oceny zaawansowania rozwoju stwardnienia rozsianego u chorych. Obecnie stosuje się w tym celu badanie ankietowe, z natury bardzo subiektywne. Badania bardziej obiektywne wymagają dziś użycia rezonansu magnetycznego, są więc nie tylko inwazyjne, ale i wysoce kosztowne. 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.

Raportowane wyniki to pierwsza faza analiz sygnałów EEG zebranych podczas omawianego projektu naukowego, pozostałe dane elektroencefalograficzne są właśnie przetwarzane. Zakres badań był jednak 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.

Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie prowadzi badania podstawowe i aplikacyjne w obszarze fizyki oraz nauk pokrewnych. Główna część działalności naukowej Instytutu koncentruje się na badaniu struktury materii, w tym własności oddziaływań fundamentalnych od skali kosmicznej po cząstki elementarne. Częścią Instytutu jest

nowoczesne Centrum Cyklotronowe Bronowice, unikalny w skali europejskiej ośrodek, obok badań naukowych zajmujący się terapią protonową nowotworów. IFJ PAN prowadzi też cztery akredytowane laboratoria badawcze i pomiarowe. Wyniki badań – obejmujących fizykę i astrofizykę cząstek, fizykę jądrową i oddziaływań silnych, fizykę fazy skondensowanej materii, fizykę medyczną, inżynierię nanomateriałów, geofizykę, biologię radiacyjną i środowiskową, radiochemię, dozymetrię oraz fizykę i ochronę środowiska – są każdego roku przedstawiane w ponad 600 artykułach publikowanych w recenzowanych wysoko punktowanych czasopismach naukowych. Corocznie Instytut jest organizatorem lub współorganizatorem wielu międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych oraz szeregu seminariów i innych spotkań naukowych. IFJ PAN jest członkiem Krakowskiego Konsorcjum Naukowego „Materia-Energia-Przyszłość”, któremu, na lata 2012-2017, nadany został status Krajowego Naukowego Ośrodka Wiodącego (KNOW). Wiele projektów i przedsięwzięć realizowanych przez Instytut jest wpisanych na Polską Mapę Infrastruktury Badawczej (PMIB). Instytut zatrudnia ponad pół tysiąca pracowników. Komisja Europejska przyznała IFJ PAN prestiżowe wyróżnienie „HR Excellence in Research” jako instytucji stosującej zasady „Europejskiej Karty Naukowca” i „Kodeksu Postępowania przy rekrutacji pracowników naukowych”. W kategoryzacji MEiN Instytut został zaliczony do najwyższej kategorii naukowej A+ w obszarze nauk fizycznych.

KONTAKT:

dr hab. **Paweł Oświęcimka**
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel.: +48 12 6628146
email: pawel.oswiecimka@ifj.edu.pl

PUBLIKACJE NAUKOWE:

„Multifractal organization of EEG signals in multiple sclerosis”
M. Wątopek, W. Tomczyk, M. Gawłowska, N. Golonka-Afek, A. Żyrkowska, M. Marona, M. Wnuk, A. Słowik, J. K. Ochab,
M. Fafrowicz, T. Marek, P. Oświęcimka
Biomedical Signal Processing and Control 2024, 91, 105916
DOI: [10.1016/j.bspc.2023.105916](https://doi.org/10.1016/j.bspc.2023.105916)

POWIĄZANE STRONY WWW:

<http://www.ifj.edu.pl/>
Strona Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk.

<http://press.ifj.edu.pl/>
Serwis prasowy Instytutu Fizyki Jądrowej PAN.

MATERIAŁY GRAFICZNE:

IFJ240410b_fot01s.jpg HR: http://press.ifj.edu.pl/news/2024/04/10/IFJ240410b_fot01.jpg
Różnice w złożoności sygnału EEG (kolory żółty i czerwony) w danym obszarze mózgu między grupą z zaawansowanym stwardnieniem rozsianym a grupą kontrolną oraz spektra multifraktalne wyliczone dla grupy chorych (linia czerwona) i dla grupy kontrolnej (linia niebieska). (Źródło: IFJ PAN)