

Streszczenie

Sprężenie nerwowo-naczyniowe tj. związek między czynnością elektryczną mózgu a związanymi z nią zmianami utlenowania krwi jawi się jako skomplikowane i nie do końca wyjaśnione zjawisko. Biorąc pod uwagę fakt, że w metodach neuroobrazowania funkcjonalnego takich jak fMRI czy fNIRS o aktywności mózgu wnioskuje się na podstawie zmian utlenowania, powiązanie tych zmian z aktywnością elektryczną mózgu stanowi bardzo ważny kierunek badawczy. Wyjaśnienie procesów leżących u podstawy sprężenia nerwowo-naczyniowego pozwoliłoby lepiej interpretować wyniki badań z wykorzystaniem metod fNIRS i fMRI. Do badania zjawiska sprężenia nerwowo-naczyniowego można wykorzystać pomiary wielomodalne, które umożliwiają jednoczesny pomiar aktywności elektrycznej mózgu oraz zmian utlenowania zachodzących w badanym obszarze. W niniejszej pracy wykorzystano do tego celu EEG oraz fNIRS. Przeprowadzono trzy doświadczenia, w których rejestrowano sygnały w trakcie aktywności spontanicznej lub/oraz wykonywania zadania ruchowego.

W pierwszym doświadczeniu powiązano rytmy EEG (alfa oraz beta) ze zmianami stężeń hemoglobiny utlenowanej (HbO) i zredukowanej (HbR) podczas wykonywania zadania ruchowego. Wykazano silną korelację rytmów EEG ze zmianami stężeń HbO i HbR ($r_{HbO-EEG\alpha}^2 = -0.69 \pm 0.16$; $r_{HbO-EEG\beta}^2 = -0.54 \pm 0.32$; $r_{HbR-EEG\alpha}^2 = 0.59 \pm 0.29$; $r_{HbR-EEG\beta}^2 = 0.49 \pm 0.22$). Wynik ten może oznaczać, że za wyznaczonymi zmianami utlenowania mogą stać te same procesy neuronalne, które związane są z obserwowanymi w EEG rytмами. Wskazuje on równocześnie, że zagadnienie sprężenia nerwowo-naczyniowego powinno być rozważane w kontekście tych rytmów. Oprócz korelacji wyznaczono również opóźnienia (Δt) odpowiedzi względem początku ruchu ($\Delta t_{HbO} = 2.71 \pm 1.29$; $\Delta t_{HbR} = 2.67 \pm 1.01$; $\Delta t_{EEG\alpha} = -0.16 \pm 0.73$; $\Delta t_{EEG\beta} = -0.03 \pm 0.53$). Wyniki te są zgodne z doniesieniami innych autorów [1]. Wyznaczono również topografię rytmów EEG oraz zmian stężeń HbO i HbR. W obu przypadkach zaobserwowano podobny obraz tj. wyraźną lateralizację odpowiedzi. Oznacza to, że EEG i sygnały hemodynamiczne nie tylko są od siebie silnie zależne, ale również ich rozkład przestrzenny jest podobny.

Są podstawy aby sądzić, że istotną rolę w procesie sprężenia nerwowo-naczyniowego mogą odgrywać tzw. fale Mayera (MW). Świadczy o tym fakt, że oscylacje te o częstotliwości ok. 0.1 Hz obserwuje się w wielu sygnałach fizjologicznych: ciśnieniu krwi, sygnale zmienności rytmu serca, zmianach hemodynamicznych czy w EEG. Według jednej z hipotez próbujących wyjaśnić mechanizm generacji MW, są one oscylacjami powstającymi w pętli sprężenia zwrotnego związanej z odruchem baroreceptorowym. W pętli tej wejściowym sygnałem jest wartość ciśnienia wywieranego na baroreceptory a wyjściowym sygnałem wartość ciśnienia krwi. Celem kolejnego badania było wyznaczenie związków

przyczynowych pomiędzy MW w następujących sygnałach: obwiedniach mocy w pasmach alfa oraz beta, zmianach stężenia tlenu we krwi - HbO oraz HbR, skurczowym (sBP) i rozkurczowym (dBP) ciśnieniu krwi oraz zmienności rytmu serca (HRV). Wykorzystano do tego celu Kierunkową Funkcję Przejścia (DTF) opartą na zasadzie przyczynowości Grangera i wielozmiennym modelu autoregresyjnym, która pozwala na znalezienie przyczynowych sprzężeń między sygnałami. Wyznaczono schemat połączeń pomiędzy poszczególnymi zmiennymi dla trzech warunków: aktywności spontanicznej, ruchu oraz okresu spoczynku występującym pomiędzy kolejnymi okresami ruchu. Zaobserwowano silne, wzajemne sprzężenia w układzie HRV-sBP-dBP, które utrzymywały się we wszystkich warunkach eksperymentalnych. Wynik ten wspiera hipotezę baroreceptorową generacji MW.

Ostatnie doświadczenie stanowi kontynuację badań nad MW. Jego celem było określenie własności spektralnych i czasowych fal Mayera podczas aktywności spontanicznej za pomocą algorytmu dopasowania kroczącego (MP). Algorytm ten pozwala rozłożyć sygnał na funkcje (atomy) o parametrach określających ich amplitudę, częstość, lokalizację w czasie i rozciągłość. Rozłożeniu na składowe poddano następujące sygnały: obwiednie mocy w pasmach delta, theta, alfa oraz beta, zmiany stężeń HbO oraz HbR, zmienność rytmu serca oraz skurczowe i rozkurczowe ciśnienie krwi, które wcześniej podzielono na 120 sekundowe epoki. Z otrzymanych w ten sposób składowych (atomów) wybrano tylko te, które odpowiadały falom Mayera tj. miały częstość w zakresie 0.05-0.13 Hz i trwały przynajmniej pół okresu. Analiza stosunku energii niesionej przez MW do całkowitej energii sygnału wykazała najwyższe wartości dla układu sBP-dBP-HRV, co jest spójne z wynikami poprzednio opisanego doświadczenia. Analiza statystyczna nie wykazała istotnych różnic w częstości oraz liczbie cykli MW pomiędzy badanymi sygnałami. Co więcej, liczba atomów MW zidentyfikowanych w danym przedziale czasu okazała się w granicach błędów taka sama we wszystkich sygnałach fizjologicznych.

Spójność, obserwowana w różnych sygnałach, własności MW wskazuje na ich wspólny mechanizm generacji oraz na ich znaczenie w generowaniu sprzężeń pomiędzy układem sercowo-naczyniowym, hemodynamicznym i nerwowym. Można postulować istotną rolę fal Mayera w synchronizacji między tymi układami i zaangażowanie MW w mechanizmy sterowania i adaptacji w różnych układach fizjologicznych. Wyniki przedstawionych powyżej badań charakteryzujące MW jako fenomen systemowy, wspólny dla układów nerwowego, naczyniowego i hemodynamicznego wskazują na istotną rolę fal Mayera w sprzężeniu nerwowo-naczyniowym.

1 Literatura

1. Wriessnegger, S. C., Kurzmann, J. & Neuper, C. Spatio-temporal differences in brain oxygenation between movement execution and imagery: a multichannel near-infrared spectroscopy study. *Int. j. psychophysiol.* **67**, 54–63 (2008).