

Spike Discharge in Long Evans Rats an Absence-Like Seizure Activity? *J Neurophysiol* 91: 63-77, 2004.
6. Shaw FZ. 7-12 Hz High-Voltage Rythmic Spike Discharges in Rats Evaluated by Antiepileptic Drugs and Flicker Stimulation. *J Neurophysiol* 97: 238-247, 2007.
7. Wiest MC, Nicolelis MAL. Behavioral detection of tactile stimuli during 7-12 Hz cortical oscillations in awake rats. *Nat Neurosci* 6.9: 913-914, 2003.
8. Fontanini A, Katz DB. 7 to 12 Hz Activity in Rat Gustatory Cortex Reflects Disengagement From a Fluid Self-Administration Task. *J Neurophysiol* 93: 2832-2840, 2005.

9. Wróbel A. Zbiorcza aktywność eklektyczna mózgu. *Kosmos – Problemy nauk biologicznych* 3 (236): 317-326, 1997.

Adres korespondencyjny:

Aleksander Sobolewski,
Instytut Biologii Doświadczalnej
im. M. Nenckiego,
Polska Akademia Nauk,
Zakład Neurofizjologii,
ul. Pasteura 3, 02-093 Warszawa,
e-mail: a.sobolewski@nencki.gov.pl

Długość oraz częstotliwość występowania paczek beta jako neuronalny korelat zmian mechanizmu uwagi związanych z procesami starzenia

Length of beta bursts and their frequency of occurrence – a neuronal correlates of visual attention mechanism – change with age

Mateusz Gola¹, Jan Kamiński^{1,2}, Aneta Brzezicka¹, Andrzej Wróbel^{1,2}

¹ Katedra Psychofizjologii Procesów Poznawczych, Wydział Psychologii, Szkoła Wyższa Psychologii Społecznej

² Pracownia Układu Wzrokowego, Zakład Neurofizjologii, Instytut Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego

Streszczenie

W badaniach na zwierzętach stwierdziliśmy [6], że mechanizm uwagi rozprzestrzenia się w układzie wzrokowym za pośrednictwem charakterystycznych paczek oscylacji o częstotliwości elektroencefalograficznej w paśmie beta (12-29 Hz). W tej pracy podjęto próbę zaobserwowania podobnej aktywności w ludzkim EEG oraz scharakteryzowania jej w różnych grupach wiekowych. W zadaniu różnicowania przestrzennego, wymagającym udziału uwagi wzrokowej lub słuchowej stwierdziliśmy, że w sygnale EEG rejestrowanym w potylicznych odprowadzeniach można wyróżnić paczki aktywności beta. Stwierdziliśmy jednocześnie, że liczba i średni czas trwania tych paczek są największe u osób starszych źle radzących sobie z zadaniem, i odpowiednio mniejsze u starszych dobrze różnicujących bodźce oraz osób młodych. Wzrost liczebności i średniego czasu trwania paczek beta u osób starszych sugeruje, iż wzbudzanie uwagi wymaga u nich większego zaangażowania mechanizmu wywołującego oscylacje beta.

Słowa kluczowe: EEG, paczki beta, uwaga wzrokowa, starzenie

Abstract

The results of our animal studies [6] have suggested that short bursts of beta oscillatory activity (12-29 Hz) might be used as a carrier for attentional activation within the visual system (Wróbel 2000). Here we have made an effort to find a similar activity in human EEG data, and to relate it with aged dependent deficits of visual attention. Young and old subjects were involved in visual and auditory spatial differentiation paradigms. Beta burst activity was identified in all subjects but the number and duration of these bursts increased with age and behavioral performance. The results suggested that attentional mechanisms are more activate in elderly human subjects, yet their efficiency is not as good as in younger people.

Key Words: EEG, beta bursts, visual attention, ageing

Wstęp

Pytania dotyczące fizjologicznych mechanizmów starzenia trapią ludzkość od wieków. Od czasu, gdy nauka podjęła próby ich wyjaśnienia, powstało wiele modeli socjologicznych, psycho-

logicznych i biologicznych opisujących starzenie z różnych perspektyw. Wyniki najnowszych badań pozwalają stwierdzić, iż nie są to z pewnością procesy stochastyczne, a dużą w nich rolę odgrywają mechanizmy genetyczne oraz różne czynniki środowiskowe [1]. Wielość aspektów starzenia spowodowała, iż badacze wybiórczo eksplorują ten obszar, ograniczając się do wyjaśniania szczegółowych zagadnień. Ta praca nie jest wyjątkiem – postanowiliśmy skupić się w niej na neuronalnych korelatach zmian uwagi związanych z procesami starzenia.

Badania prowadzone w naszej pracowni wskazują na to, że nośnikiem pobudzenia będącego podłożem mechanizmu uwagi w układach zmysłowych jest aktywność oscylacyjna o częstotliwości w paśmie beta (12-29 Hz). Przedstawiona przez nas hipoteza zakłada, że oscylacje o częstotliwości beta pojawiają się w stanach wzmożonej uwagi w tych okolicach mózgu, które zajęte są przetwarzaniem określonego bodźca zmysłowego, wywołując podstawowy stan aktywności, potrzebny dla procesów percepcyjnych [6]. Najwięcej danych na ten temat pochodzi z badań na kotach, u których rejestrowaliśmy aktywność elektryczną mózgu podczas wykonywania zadań angażujących uwagę w modalności wzrokowej lub słuchowej. W doświadczeniach tych stwierdziliśmy, że w czasie, w którym kot obserwował z uwagą ekran aby rozpoznać bodziec informujący o lokalizacji nagrody, w wielu ośrodkach układu wzrokowego, w tym w korze wzrokowej, następował wzrost aktywności oscylacyjnej w zakresie pasma beta. W zadaniu słuchowym lub w próbach wzrokowych nie zakończonych prawidłową reakcją, aktywności takiej w układzie wzrokowym nie zaobserwowano.

Dane literaturowe sugerują, że również u ludzi, w stanie uwagi wzrokowej można rejestrować wzmożoną aktywność beta z elektrod EEG umieszczonych potylicznie, nad okolicą projekcyjną układu wzrokowego [2] oraz nad grzbietową drogą korowego przetwarzania informacji wzrokowej [3]. W naszym laboratorium stwierdziliśmy, że moc pasma beta sygnału EEG rejestrowanego z elektrod potylicznych u ludzi maleje wraz ze wzrostem natężenia uwagi wzrokowej [6]. Jednak jest to wynik tylko pozornie sprzeczny z hipotezą o roli pasma beta w procesach uwagi. Elektrody naczaskowe rejestrują bowiem aktywność mózgu pochodzącą z dużego obszaru kory (ok. 10 cm²), co sprawia, że różnice w synchronizacji fazowej oscylacji beta w aktywnych kolumnach wzrokowych mogą wzajemnie znosić się w uśrednionym sygnale. Potwierdzeniem ta-

kiej hipotezy są wyniki Gomeza, który wykazał, że ekspozycja statycznego bodźca wzrokowego pojawiającego się w oczekiwanej lub nieoczekiwanej przez uczestnika badania lokalizacji wywołuje wzrost aktywności beta jedynie w obszarze pola widzenia objętym uwagą [4].

Wzrost aktywności w zakresie częstotliwości beta podczas wykonywania zadań angażujących procesy uwagi jest związany ze zwiększeniem amplitudy i częstości występowania „paczek oscylacji” w tym paśmie, czyli erupcji aktywności beta, które rejestrowane w warstwie czwartej kory wzrokowej mają długość od kilkudziesięciu do kilkuset milisekund [5, 6]. Oscylacje beta wzbudzone przez znaczący bodziec w obszarach wzrokowych kory mózgu kota są przekazywane do innych obszarów mózgu, co wprowadza układ wzrokowy w stan pobudzenia, umożliwiając w efekcie powstanie synchronicznych oscylacji gamma, a przez to również percepcję. Nasza hipoteza przypisuje więc uwagowej aktywności beta rolę wzbudzającą, podobnie do uznanej już w literaturze roli aktywacyjnej pasma alfa w pobudzeniu niespecyficznym i roli pasma gamma w procesach integracyjnych [6].

W ostatnich badaniach [7] prowadzonych na kotach powiązано dwa podzakresy pasma beta (beta 1: 12-18 Hz oraz beta 2: 19-29 Hz) z powszechnie uznanym modelem dwukanałowej percepcji wzrokowej. Zgodnie z tym modelem istnieją dwa szlaki percepcji wzrokowej – szlak brzuszny (allocentryczny), biegnący od płata potylicznego do płata czołowego, związany z postrzeganiem obiektu oraz szlak grzbietowy (egocentryczny), biegnący od płata potylicznego do płata ciemieniowego, związany z postrzeganiem ruchu obiektów oraz możliwością manipulacji nimi. Nasze eksperymenty pokazały, że drogi te są aktywowane przez inne zakresy pasma beta: beta 1 związane jest z aktywacją szlaku brzuszego, natomiast beta 2 – grzbietowego. Podobne wyniki uzyskano z użyciem metody MEG na ludziach [8].

Zwiększona aktywność mózgu w paśmie beta, jako neuronalny korelat mechanizmu uwagi, powinna pozostawać w związku ze stosowanymi w psychologii poznawczej wskaźnikami jej funkcjonowania, takimi jak poprawność odpowiedzi oraz czasy reakcji mierzone w zadaniach wymagających zaangażowania zasobów uwagowych. Jakkolwiek sama definicja uwagi, formułowana na gruncie psychologii jest przedmiotem nieustannej dyskusji, to większość wyników badań dotyczących różnic grupowych pomiędzy osobami starszymi i młodymi pozostaje spójna. Najczęściej opisywanym w literaturze efektem ogólne

spowolnienie (ujawniane w czasach reakcji na bodziec) w przypadku osób starszych [9]. Ludzie starsi uzyskują w zadaniach uwagowych czasy reakcji dłuższe niż osoby młode. Również spowolnieniem w obrębie podstawowych procesów poznawczych wyjaśnia się obserwowane wśród osób starszych pogorszenie wykonywania zadań o znacznym stopniu złożoności [10]. Ostatnie badania skupiają się na określeniu deficytów procesów poznawczych (tj. przełączania uwagi, hamowania, dostępu do pamięci operacyjnej), które odpowiadają za obserwowane spowolnienie [11]. Jeśli paczki oscylacji beta mają związek z uwagą, to zmiana ich charakterystyki z wiekiem powinna korelować ze zmianami zachowania. Aktywność beta mogłaby więc stać się wskaźnikiem spowolnienia procesów poznawczych u ludzi w starszym wieku.

Hipoteza badawcza

Średnia długość paczek beta w sygnale EEG rejestrowanym z potylicznych elektrod u osób starszych podczas rozwiązywania zadania wymagającego uwagi będzie w próbach wzrokowych istotnie większa od średniej długości tych paczek u osób młodych.

Materiały i metody

Osoby badane

W eksperymencie wzięło udział 17 osób w dwóch grupach wiekowych. Dziesięcioro spośród uczestników badania to osoby w wieku od 19 do 27 lat ($21,70 \pm 2,36$, średnia \pm SD; sześć kobiet i czterech mężczyzn) natomiast siedmioro to osoby w wieku od 62 do 75 lat ($69,86 \pm 5,15$; pięć kobiet i dwóch mężczyzn). Warunkiem dopuszczenia do udziału w badaniu osób starszych było uzyskanie co najmniej 25 punktów w badaniu przesiewowym z wykorzystaniem Krótkiej Skali Oceny Stanu Psychicznego (*Mini Mental-State Examination*, MMSE).

Aparatura i materiały badawcze

W badaniu wykorzystano wielokanałowy wzmacniacz EEG, czepek *Electro-Cap*, słuchawki stereofoniczne oraz komputery typu PC z 17-calowymi monitorami. Program procedury eksperymentalnej napisano w programie *Inquisit 2.0*. Wszystkie analizy statystyczne wykonano za pomocą pakietu Matlab R2007b oraz pakietu statystycznego SPSS 14 PL.

W badaniu przygotowawczym wykorzystano Krótką Skalę Oceny Stanu Psychicznego (MMSE)

– trwający około 10 minut test przesiewowy objawów demencji składający się z zadań diagnozujących poziom podstawowych funkcji poznawczych (np. zapamiętywania, dokonywania operacji arytmetycznych, orientacji przestrzennej; Folstein i inni [12]).

Procedura doświadczalna

Badanie zaprojektowano w schemacie różnicowym mieszanym 2 x (2) x (3) x (3). Dwióm grupom uczestników badania (osobom starszym oraz młodszym) prezentowano bodźce wzrokowe oraz słuchowe w trzech czasach odroczenia (3 s, 4 s, 5 s, 7 s) od bodźca wskazującego modalność próby (ang. *cue*) oraz w trzech stopniach trudności (określanych przez czasową odległość między dwoma bodźcami docelowymi, prezentowanymi asynchronicznie w lewym i prawym polu widzenia lub kanale słuchowym).

Do stworzenia procedury wykorzystano samodzielnie opracowane bodźce graficzne, oraz dźwiękowe. Przy ich tworzeniu brano pod uwagę możliwe niewielkie deficyty wzroku i słuchu u uczestników badania (szczególnie osób w wieku starszym), dlatego też stworzone bodźce charakteryzuje odpowiednio duży rozmiar (w przypadku bodźców wzrokowych) oraz natężenie dźwięku (w przypadku bodźców słuchowych). Wszystkie bodźce są łatwo dostrzegalne dla ludzi bez oślepienia i znacznych deficytów wzroku lub słuchu.

Po zapoznaniu się z instrukcją badania (prezentowaną na monitorze LCD) uczestnik rozpoczynał fazę wstępną, na którą składało się sześć prób, wybranych losowo spośród zaprezentowanych poniżej możliwych rodzajów zadań (Rycina 1):

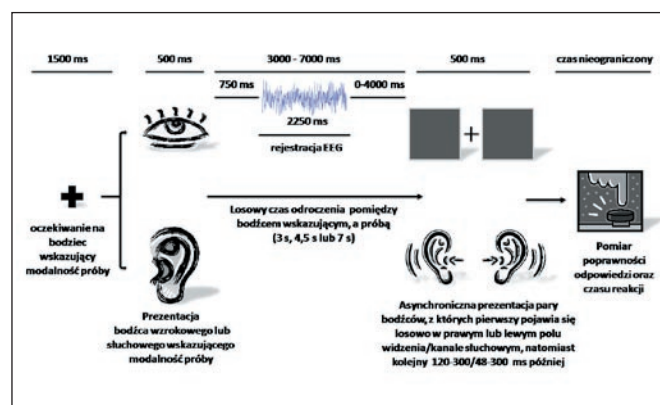
1. Zadanie wzrokowe. Prezentacja pary bodźców wzrokowych (dużych jasnoszarych kwadratów na czarnym tle), z których jeden pojawiał się od 160 do 600 milisekund wcześniej niż drugi (po lewej lub prawej stronie ekranu). Bodźce eksponowane były przez 300 milisekund. Ich wystąpienie sygnalizowano od 3 do 7 sekund wcześniej poprzez 500 milisekundową, jednoczesną ekspozycję obu bodźców wzrokowych.

2. Zadanie słuchowe. W sposób analogiczny prezentowane były bodźce słuchowe. Czas ekspozycji tych bodźców wynosi 100 milisekund, a różnica w pojawieniu się bodźców w prawym lub lewym kanale słuchowym mieściła się w zakresie od 48 do 300 milisekund. Próby słuchowe były sygnalizowane jednoczesnym dźwiękiem w obu kanałach, występującym na 3 do 7 sekund wcześniej i trwającym 500 milisekund.

3. Zadanie kontrolne. Prezentowane były jednocześnie dwa ciemnoszare kwadraty, przekreślone

liniami w kolorze bordo. Ich ekspozycja trwała pięć sekund, a po nich następowało przejście do kolejnej próby.

Uczestnik badania w próbach typu 1 i 2 miał za zadanie odpowiedzieć na pytanie, który z bodźców pojawił się pierwszy – prawy czy lewy. Czas odpowiedzi nie był limitowany. Podczas prób typu 3 osoba badana zgodnie z instrukcjami mogła zmniejszyć stan uwagi i odpocząć (nie musiała odpowiadać na żadne pytanie). Po fazie wstępnej, składającej się z sześciu ekspozycji, następowało badanie, podczas którego w losowej kolejności prezentowano 120 prób. Częstość wystąpienia każdego z rodzajów prób była w pełni równoważona. Co 30 prób następowała przerwa, której długość uczestnik badania regulował samodzielnie. Czas trwania procedury wynosił od 24 do 30 minut – zależnie od długości przerw, którą regulował uczestnik badania. Czas trwania całego badania uwzględniający założenie i podłączanie elektrod oraz czepka wynosił od 60 do 90 minut w zależności od oporności elektrycznej skóry u danego uczestnika badania.



Rycina 1. Graficzne przedstawienie procedury badania.

Rejestracja sygnałów

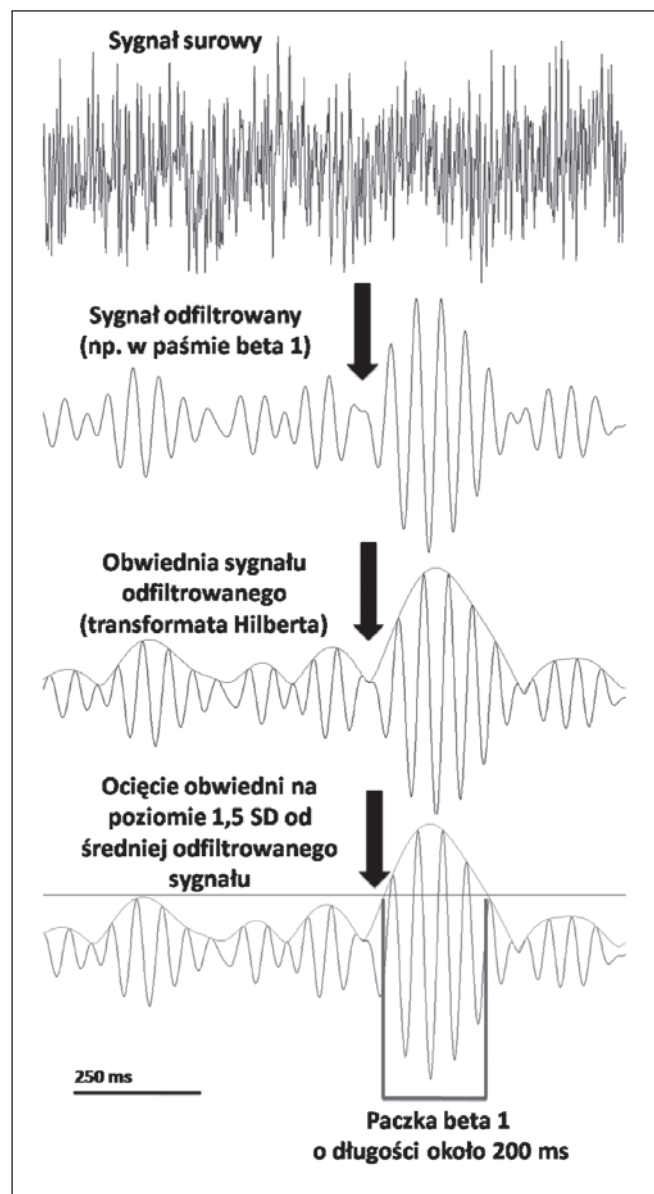
Sygnaly EEG rejestrowano ze skóry czaszki uczestnika badania. Do rejestracji wykorzystano 11 elektrod (w systemie 10/20): O1, O2, T3, T4, P3, P4, Pz, F3, F4, Fz. Rejestrowany sygnał wzmacniany był 20 000 razy. Zastosowano dwa filtry sprzętowe: dolnoprzepustowy 100 Hz oraz górnoprzepustowy 0, 1 Hz. Częstotliwość próbkowania sygnału wynosiła 400 Hz.

Analiza sygnałów

Przed przystąpieniem do analizy sygnałów dokonano wzrokowej klasyfikacji artefaktów. Do analizy włączono odcinki rejestrowanego sygnału następujące 750 milisekund po prezentacji wskazówki (cue) oraz kończące się 3000 milisekund po tej prezentacji. Taki wybór podyktowany był ko-

niecznością usunięcia sygnału zawierającego odpowiedź wywołaną prezentacją „wskazówki” oraz bodźcem docelowym. Kolejnym krokiem było odfiltrowanie sygnału w zakresach częstotliwości: beta 1: 12-18 Hz, beta 2: 19-29 Hz.

Na wartości absolutnej odfiltrowanego sygnału przeprowadzana była transformata Hilberta. Uzyskano w jej wyniku obwiednię filtrowanego sygnału. Za definicję „paczki oscylacji” przyjęto utrzymującą się przez minimum 70 milisekund wartość obwiedni przekraczającą 1,5 odchylenia standardowego od średniej sygnału zarejestrowanego u danej osoby przez daną elektrodę we wszystkich próbach włączonych do analizy. Procedura analizy sygnałów przedstawiona została na Rycinie 2.



Rycina 2. Graficzne przedstawienie sposobu analizy sygnałów.

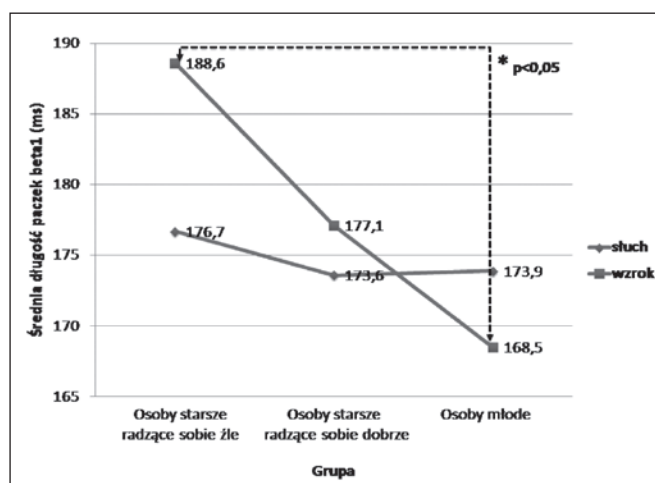
Wyniki

Na podstawie stopnia poprawności odpowiedzi osoby badane podzielono na trzy grupy:

- 1) Osoby starsze, źle radzące sobie z zadaniem (trzy kobiety, w wieku od 69 do 72 lat, $71 \pm 1,73$) – poprawność odpowiedzi na poziomie 59%-69% ($63,33\% \pm 5,13\%$).
- 2) Osoby starsze, radzące sobie dobrze z zadaniem (cztery osoby – dwie kobiety i dwu mężczyzn, w wieku od 62 do 75 lat, $69 \pm 6,98$) – poprawność odpowiedzi na poziomie 88%-96% ($90,5\% \pm 3,79\%$).
- 3) Osoby młode (10 osób – sześć kobiet i czterech mężczyzn w wieku od 19 do 27 lat, $21,70 \pm 2,36$) – poprawność odpowiedzi na poziomie 92%-97% ($94,9\% \pm 2,08\%$).

Wszystkie dalsze analizy przeprowadzone zostały w podziale na te trzy grupy.

Za pomocą analizy wariancji porównano średnie długości paczek beta 1 oraz beta 2 w sygnale zebranym z elektrod O1 i O2 (płaty potyliczne). Wyniki analizy długości paczek beta 1 przedstawiono na rycinie 3.



Rycina 3. Różnice średnich długości paczek beta 1 w sygnale z elektrod O1 i O2.

Analiza średnich długości paczek beta 1 wykazała istotną różnicę pomiędzy długością tych paczek w warunkach wzrokowych u osób starszych, źle rozwiązujących zadanie oraz osób młodych ($p < 0,05$). Paczki beta 1 są istotnie dłuższe dla osób starszych, źle rozwiązujących zadanie (średnia 188,6 ms) niż młodych (średnia 168,5 ms). W przypadku warunków słuchowych nie ujawniono istotnych różnic.

Analiza średnich długości paczek beta 2 nie wykazała istotnych różnic zarówno w warunkach wzrokowych, jak i słuchowych. Wyniki długości paczek w obu warunkach nie różniły się również od siebie w sposób istotny.

Analiza częstości występowania paczek beta 1 ujawniła istotne różnice w liczebnościach ważonych przez liczbę osób w grupie, w zależności od grup ($\chi^2(2) = 25,2$; $p < 0,001$). Wyniki przedstawiono w Tabeli 1.

	Średnia liczba paczek beta 1 na osobę w danej grupie
Osoby starsze, źle radzące sobie z zadaniem	133
Osoby starsze, dobrze radzące sobie z zadaniem	96
Osoby młode	63

Tabela 1. Różnice ważonej przez liczbę osób liczebności paczek beta 1 w sygnale z elektrod O1 i O2 w podziale na grupy.

Dyskusja

Otrzymane wyniki stanowią pozytywną weryfikację postawionej hipotezy. Co więcej, istotne różnice w długości i częstości występowania paczek stwierdziliśmy jedynie w paśmie beta 1. Wynik ten zgadza się z faktem, że bodźce używane w zastosowanym paradigmatcie nie poruszały się, a więc strumień grzbietowy najprawdopodobniej nie był w naszym doświadczeniu aktywowany przez częstotliwość uwagową beta 2.

Wzrost liczebności i czasu trwania paczek beta 1 w grupie osób starszych, źle radzących sobie z zadaniem uwagi wzrokowej w porównaniu do młodych, potwierdza hipotezę o podstawowym znaczeniu aktywności beta we wzbudzeniu uwagowym. Średnia liczba paczek beta 1 rejestrowana u osób starszych (133), źle radzących sobie z zadaniem była ponad dwukrotnie wyższa niż liczba paczek zidentyfikowanych u osób młodych (63). Wzrost liczebności i średniego czasu trwania paczek beta sugeruje, że wzbudzenie uwagi u osób starszych wymaga większej aktywności mechanizmu wywołującego oscylacje beta. Aktywacja ta nie kompensuje jednak całkowicie mniejszej pobudliwości sieci nerwowej, gdyż wyniki behawioralne u osób starszych są gorsze.

Pojawienie się różnic w paśmie beta 1 oraz brak takich różnic w paśmie beta 2 w kontekście zadania, w którym uczestnik badania miał do czynienia z bodźcami statycznymi, pojawiającymi się w stałym miejscu, jest zgodne z modelem wiążącym te dwa zakresy częstotliwości z dwoma szlakami wzbudzenia uwagi wzrokowej [7].

W oparciu o zaprezentowane wyniki można przypuszczać, że podobnie jak u kota [5, 6] również u ludzi, wzrost aktywności w paśmie beta jest związany ze wzbudzeniem uwagi w układzie zmy-

słowym o modalności zaangażowanej w danym zadaniu. Następnym krokiem powinno być podjęcie próby powiązania opisanego zjawiska z psychologicznymi modelami uwagi oraz konkretnymi procesami poznawczymi.

Podziękowania

Wykonanie powyższych badań było możliwe dzięki wsparciu finansowemu udzielonemu przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (gran-ty N40114631/3239 i N106 017 31/1344).

Piśmiennictwo

1. Mossakowski M., i Strosznajder J., (2001). *Mózg a starzenie*. Centrum upowszechniania nauki PAN, Warszawa 2001.
2. Ray W.J. i Cole M.W., (1985). EEG alpha activity reflects attentional demands, and beta activity reflects emotional end cognitive processes. *Science*, 228, 750-752.
3. Gross J., Schmitz F., Schnitzler I., Kessler K., Shapiro K., Hommel B.I., Schnitzler A., (2004). Modulation of long-range neural synchrony reflectstemporal limitations of visual attention in humans. *Proc Natl Acad Sci*, 101 (35): 13050-13055.
4. Gomez C.M., Vazquez M., Vaquero E., Lopez-Mendoza D. i Cardoso M.J., (1998). Frequency analysis of the EEG during spatial selective attention. *International Journal of Neuroscience*, 95, 17-32.
5. Bekisz M. i Wróbel A., (1999). Coupling of beta and gamma activity in corticothalamic system of cats attending to visual stimuli. *NeuroReport*, 10, 3589-3594.

6. Wróbel A., (2000). Beta activity: A carrier for visual attention. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 60, 247-260.
7. Wróbel A., Ghazaryan A., Bekisz M., Bogdan W. and Kamiński J., (2007) Two streams of attention dependent beta activity in the striate recipient zone of cat's lateral posterior – pulvinar complex. *J. Neurosci.* (2007) 27: 2230-2240.
8. Fox M.D., Corbetta M., Snyder A.Z., Vincent J. L., i Raichle M.E., (2006). Spontaneous neuronal activity distinguishes human dorsal and ventral attention systems. *Natl Acad Sci*, 10.1073/pnas.0604187103.
9. Salthouse T.A., (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103 (3), 403-428.
10. Salthouse T. A., (1993). Speed mediation of adult age differences in cognition. *Developmental Psychology*, 29, 722-738.
11. Oberauer K., (2006). *Różnice w funkcjach poznawczych związane z wiekiem i cechami indywidualnymi* w: Engle R.W., Sędek G., Hecker U., McIntosh D.N., Ograniczenia poznawcze: Starzenie się i psychopatologia, Academica i Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006.
12. Folstein M.F., Folstein S.E., McHugh P.R., (1975). „Mini-mental state”. A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician”. *Journal of psychiatric research* 12 (3): 189-98.

Adres korespondencyjny:

Mateusz Gola,
Szkoła Wyższa Psychologii Społecznej,
ul. Chodakowska 19/31, 03-815 Warszawa,
e-mail: mateusz.gola@gmail.com

Analiza okołodobowej aktywności neuronów serotoninergicznych przyśrodkowych jąder szwu szczura

Analysis of circadian activity of serotonergic neurons in the median raphe nuclei of the rat

Katarzyna Werhun, Marian H. Lewandowski

Zakład Neurofizjologii i Chronobiologii, Instytut Zoologii UJ, Kraków

Streszczenie

Jądra nadskrzyżowaniowe (suprachiasmatic nuclei, SCN) podwzgórza u ssaków stanowią wewnętrzny generator rytmów biologicznych, tzw. zegar biologiczny. Serotoninergiczne unerwienie pochodzące z przyśrodkowych jąder szwu (*median*

raphe nuclei – MRN) jest jedną z trzech głównych projekcji do SCN, co wskazuje na jej silny wpływ i udział w aktywności zegara biologicznego ssaków. Pomimo dobrze udokumentowanej roli serotoniny (5-HT) w funkcjonowaniu zegara biologicznego ssaków, niewiele wiadomo o okołodobowej aktywności samych neuronów MRN. Szereg parametrów