

WPŁYW DEPRYWACJI SNU NA PROCESY POZNAWCZE STUDENTÓW MEDYCYNY W CZASIE SESJI EGZAMINACYJNEJ

THE INFLUENCE OF SLEEP DEPRIVATION ON THE COGNITIVE PROCESSES
IN MEDICAL STUDENTS DURING EXAM SESSION

Anna Janocha¹, Aldona Molęda², Tadeusz Sebzda¹

¹ Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu / Wrocław Medical University, Wrocław, Polska
Katedra Fizjologii i Patofizjologii, Zakład Patofizjologii / Department of Physiology and Pathophysiology, Division of Pathophysiology

² MOLMED Psychiatria i psychoterapia behawioralna dzieci i młodzieży / MOLMED Psychiatria and Behavioural Psychotherapy
for Children and Adolescents, Wrocław, Polska

STRESZCZENIE

Wstęp: W krajach wysokorozwiniętych wraz ze wzrostem presji socjoekonomicznej zaobserwowano postępujące skrócenie snu nocnego. Sen pełni ważną funkcję w regeneracji organizmu człowieka, a jego deprywacja powoduje wiele negatywnych efektów psychosomatycznych, takich jak ograniczenie sprawności intelektualnej lub obniżenie odporności organizmu, co zwiększa podatność na choroby. Występujący dość powszechnie u studentów medycyny chroniczny deficyt snu istotnie wpływa na zwiększoną senność w ciągu dnia i prowadzi do przewlekłego zmęczenia. **Materiał i metody:** Analizie poddano wyniki uzyskane u 60 studentów, których w zależności od średniego czasu trwania snu nocnego przez poprzednie 2–3 noce zakwalifikowano do 2 podgrup – IA (średnio 2,3±0,8 godz.) i IB (średnio 4,9±0,5 godz.). Grupę odniesienia stanowiło 50 studentów, których średni czas trwania snu nocnego w analizowanym okresie wynosił 7,5±0,62 godz. U wszystkich badanych wykonano rejestrację wzrokowych i słuchowych potencjałów wywołanych oraz ocenę sprawności sensomotorycznej, które są nieinwazyjnymi metodami badania czynności poznawczych. **Wyniki:** Wykazano, że osoby ze średnim czasem trwania snu nocnego 2,3±0,8 godz. (podgrupa IA) charakteryzowały się gorszą szybkością i dokładnością reakcji na bodźce, a w efekcie istotnie gorszą ($p < 0,001$) sprawnością sensomotoryczną, niż osoby z podgrupy IB. W badaniu potencjałów wywołanych wykazano istotne (od $p < 0,04$ do $p < 0,001$) wydłużenie latencji wszystkich załamków związanych z postrzeganiem bodźców (N_{75}) i koncentracją uwagi (P_{100} , N_{135}). Ponadto istotne wydłużenie wzrokowego załamka P_{100} i słuchowego załamka V było związane ze zmęczeniem psychofizycznym występującym w deprywacji snu. **Wnioski:** Analiza wyników uzyskanych u studentów medycyny wykazała, że występujący w czasie sesji egzaminacyjnej deficyt snu jest ściśle związany z ubytkiem zdolności kognitywnych, co negatywnie wpływa na osiągnięcia akademickie. Uzyskane wyniki wskazują, że czas trwania snu nocnego jest czynnikiem różnicującym jakość zdolności poznawczych. Negatywny wpływ na przebieg procesów umysłowych ma również zmęczenie psychofizyczne. Med. Pr. 2023;74(1):27–40

Słowa kluczowe: procesy poznawcze, wzrokowe potencjały wywołane, słuchowe potencjały wywołane, deprywacja snu, sprawność sensomotoryczna, zmęczenie psychofizyczne

ABSTRACT

Background: Along with socio-economic pression increase in developed countries, the progressive shortening of night sleep has been observed. Sleep plays a vital role in human organism regeneration, and its deprivation leads to a series of adverse psychosomatic effects, including intellectual performance limitation or reducing body immunity, which increases susceptibility to diseases. Chronic sleep deprivation, quite often affecting medical students, significantly contributes to hypersomnia and leads to chronic fatigue. **Material and Methods:** The results of 60 students were analysed; students were divided into 2 subgroups, depending on the average sleep duration during previous 2–3 nights: IA (2.3±0.8 h on average) and IB (4.9±0.5 h on average). The control group consisted of 50 students, whose night sleep duration in that period was 7.5±0.62 h. In all subjects under analysis visual and auditory evoked potentials were registered, which is a non-invasive method of cognitive performance tests. **Results:** The obtained results showed that people with average night sleep duration 2.3±0.8 h (subgroup IA) had worse rate and precision of stimulus response, and thereby significantly worse ($p < 0.001$) sensorimotor performance, then those from subgroup IB. The study of evoked potentials showed significant (from $p < 0.04$ to $p < 0.001$) elongation of all latency p-waves connected with the stimulus perception (N_{75}) and attention span (P_{100} , N_{135}). Moreover, significant elongation of visual latency wave P_{100} and auditory wave V was related to psychophysical fatigue occurring in sleep deprivation. **Conclusions:** The analysis of this study results, obtained in medical students showed that sleep deprivation occurring during exam session is closely related to cognitive abilities, which in turn adversely affects the academic achievement. These results indicate that night sleep duration is a differentiating factor for cognitive abilities quality. Also, psychosomatic fatigue adversely affects cognitive processes. Med Pr. 2023;74(1):27–40

Key words: cognitive processes, visual evoked potentials, auditory evoked potentials, sleep deprivation, sensorimotor performance, psychosomatic fatigue

Autorka do korespondencji / Corresponding author: Anna Janocha, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, Katedra Fizjologii i Patofizjologii, Zakład Patofizjologii, ul. T. Chałubińskiego 10, 50-368 Wrocław, e-mail: anna.janocha@umw.edu.pl
Nadesłano: 9 sierpnia 2022, zatwierdzono: 29 grudnia 2022

WSTĘP

Sen jest stanem fizjologicznym cyklicznie pojawiającym się i przemijającym w rytmie dobowym oraz polegającym na zredukowaniu aktywności ruchowej, zmniejszeniu reaktywności na bodźce, zwolnieniu czynności fizjologicznych, w tym rytmów serca i oddechowego, oraz chwilowej utracie świadomości. Czynnikiem odróżniającym sen od innych stanów, takich jak śpiączka, anestezja lub hibernacja, jest szybki powrót do stanu czuwania pod warunkiem zadziałania odpowiednio silnego bodźca [1]. Według Siegela [2] definicja snu musi zawierać informację o zależności od mechanizmów okołodobowych i homeostatycznych regulujących sen, takich jak występowanie okresów odsypiania po deprywacji snu.

Zmianom behawioralnym w trakcie snu towarzyszy reorganizacja czynności mózgu. Podczas czuwania charakterystyczny jest niskonapięciowy zdesynchronizowany zapis elektroencefalograficzny (EEG) pod postacią fal beta o niskiej amplitudzie i wysokiej częstotliwości. W spoczynku, przy zamkniętych oczach, w oscylacjach EEG dominują natomiast wolniejsze fale alfa. W miarę zasypiania amplituda czynności bioelektrycznej rośnie, a częstotliwość maleje, co wynika z narastającej synchronizacji potencjałów czynnościowych [1,3].

Sen zdrowego człowieka zaczyna się fazą NREM (*non-rapid eye movement*), w czasie której pogłębia się od stadium 1 do 4. W stadium 4, w którym dominują fale delta (sen wolnofalowy), głębokość snu jest największa. Po stadiach snu NREM następuje faza REM (*rapid eye movement*). Niezaburzony sen nocny obejmuje cykl faz NREM i REM, który powtarza się 4–5 razy w ciągu nocy, co ok. 90–110 min. Stadium 4 fazy NREM wydaje się najwartościowsze dla człowieka ze względu na zasadnicze znaczenie regeneracyjne dla całego organizmu, w tym ośrodkowego układu nerwowego (OUN). Sen NREM jest odpowiedzialny za odpoczynek tych sieci neuronalnych, które są podłożem funkcji psychicznych. Nad ranem zaczyna przeważać sen REM, który jest nazywany snem paradoksalnym ze względu na wysoką aktywność mózgu przy jednoczesnym braku napięcia mięśni zależnych od woli [4]. We śnie REM zapis EEG jest podobny do stanu czuwania, a ogólne zużycie energii przez mózg jest wtedy równie wysokie jak na jawie. Najwyższy poziom aktywności neuronów jest związany z mimowolnym, izolowanym skurczem mięśni kończyn i twarzy, a także mięśni okoruchowych, stąd szybkie ruchy gałek ocznych we śnie REM [5,6].

W stanie czuwania występuje świadome postrzeganie i zapamiętywanie otaczającej rzeczywistości oraz świadoma refleksja nad przeszłymi doświadczeniami [7]. W ostatnich latach w badaniach wykazano, że w procesach kognitywnych obie fazy snu pełnią równie ważne funkcje. Fazy NREM i REM są ważne z uwagi na różne aspekty uczenia się i zapamiętywania, przy czym faza NREM odgrywa kluczową rolę w konsolidacji pamięci deklaratywnej, podczas gdy faza REM – w konsolidacji wspomnień niedeklaratywnych [5]. W fazie NREM następuje nieświadome uporządkowanie nowo nabytych doświadczeń i umiejętności, co może poprawiać skuteczność ich wykorzystania w praktyce [8]. Sen NREM jest konieczny do tworzenia wspomnień, ponieważ przynosi wstępną konsolidację świeżych śladów pamięciowych, podczas której niektóre z nich ulegają wzmocnieniu, a inne – wygaszeniu, łagodząc tym samym skutki negatywnych przeżyć [9]. Z kolei w fazie REM nowe wiadomości zostają uporządkowane i zintegrowane ze starymi wspomnieniami, dochodzi do tworzenia nowych asocjacji i wzorców doświadczeń oraz budowania nowych schematów kognitywno-emocjonalnych [10]. Dodatkowo faza REM może usprawniać neurogenezę i plastyczność synaps zwłaszcza w obrębie hipokampa [11].

Podczas snu nocnego kształtuje się osobisty stosunek człowieka do przeżytych za dnia sytuacji. We śnie niemal całkowicie zostaje wyłączona świadomość, do mózgu nie docierają więc bodźce z otaczającego świata, dzięki czemu mózg może spokojnie i intensywnie pracować [12].

Według National Sleep Foundation [13] sen jest niezbędny do życia i prawidłowego przebiegu procesów psychosomatycznych, w tym procesów poznawczych i tworzenia wspomnień [14]. Sen jest także konieczny do ogólnej poprawy samopoczucia, zmniejszenia poziomu stresu, poprawy nastroju, a także prawidłowej wydolności fizycznej i koordynacji motorycznej [11]. Z kolei deprywacja snu, czyli celowe pozbawienie organizmu snu przez określony czas, powoduje wiele negatywnych efektów psychosomatycznych, ale przede wszystkim ogranicza sprawność intelektualną i kreatywne myślenie oraz pojemność ludzkiej pamięci nawet o kilkadziesiąt procent. Deprywacja snu jest także przyczyną zmian nastroju i rozdrażnienia oraz zmęczenia i senności w ciągu dnia, co z kolei powoduje spowolnienie reakcji, spadek koncentracji uwagi i większą liczbę popełnianych błędów logicznych [15].

W krajach wysokorozwiniętych wraz ze wzrostem presji socjoekonomicznej zaobserwowano postępujące

skrócenie snu nocnego. Młodzi ludzie w wieku 18–25 lat, bardzo intensywnie pracujący umysłowo, jak uczestnicy niniejszego badania, zgodnie z zaleceniami National Sleep Foundation [13] powinni spać w ciągu nocy 7–9 godz., co praktycznie nie zdarza się studentom podczas sesji egzaminacyjnej. Już 1 nieprzespana noc powoduje ubytki procesów poznawczych, które pogłębiają się wraz ze zwiększaniem deprywacji snu [12]. Całonocna nauka do egzaminu wcale nie musi być skuteczna i zazwyczaj przynosi efekt przeciwny do zamierzonego. Najpowszechniejszą deprywację snu stanowi jej odmiana skumulowana, w której skrócenie snu nocnego trwa przez jakiś czas [16]. Ten typ deprywacji snu dotyczył też badanych studentów medycyny w czasie sesji egzaminacyjnej.

Celem pracy była próba obiektywnej oceny procesów poznawczych u studentów medycyny w czasie sesji egzaminacyjnej za pomocą badania sensomotorycznego oraz oceny wzrokowych i słuchowych potencjałów wywołanych.

MATERIAŁ I METODY

Badaniami objęto grupę 60 studentów medycyny, którzy stanowili grupę zasadniczą (grupa I). Czas trwania snu nocnego u osób z tej grupy wynosił 1–6 godz. Wszystkie osoby z tej grupy były zdrowe i nie cierpiały na zaburzenia snu, a deprywacja snu wynikała wyłącznie z wielogodzinnej nauki podczas sesji egzaminacyjnej przez 2–3 noce. Nikt z badanych nie był

nakłaniany do skrócenia czasu snu nocnego ze względu na udział w projekcie.

Grupę odniesienia (grupa II) stanowiło 50 zdrowych studentów medycyny. Czas trwania snu nocnego u wszystkich osób z tej grupy wynosił 7–9 godz. przez co najmniej 3 ostatnie doby. W obu grupach czas trwania snu nocnego i jakość snu były oceniane subiektywnie przez samych badanych. Charakterystykę obu grup przedstawiono w tabeli 1.

Porównanie osób z obu grup wykazało różnice istotne statystycznie jedynie w odniesieniu do czasu trwania snu nocnego ($p < 0,001$), natomiast w przypadku pozostałych parametrów (wieku, płci, stosowania używek) nie wykazało istotnych różnic. W obu grupach prawie wszyscy (z wyjątkiem 1 osoby) pili kawę w ilości 2–4 filiżanek/dobę, porównywalna była także liczba osób palących tytoń (5–10 papierosów/dobę), przy czym w każdej grupie było więcej palących mężczyzn niż kobiet. Tylko kilka osób przyznało, że sporadycznie spożywa napoje energetyczne, a alkohol był pity tylko okazjnie. Wszyscy badani zostali poproszeni o niepicie napojów energetycznych ani alkoholu co najmniej kilka dni przed badaniem, a w dniu badania niekorzystanie z żadnej z pozostałych używek.

Po przeprowadzeniu dokładnego wywiadu grupę I podzielono na 2 podgrupy z uwzględnieniem czasu trwania snu nocnego:

- podgrupa IA (22 osoby, w tym 8 kobiet i 14 mężczyzn) – sen nocny od ≥ 1 do < 4 godz. (średnio $2,3 \pm 0,8$ godz.),

Tabela 1. Charakterystyka badanych osób z deprywacją snu (grupa I) i z grupy kontrolnej (grupa II), Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, czerwiec 2018 i 2019

Table 1. Characteristic of examined persons with sleep deprivation (group I) and from the control group (group II), the research was conducted at the Wrocław Medical University in June 2018 and 2019

Zmienna Variable	Badani Participants (N = 110)		p
	grupa I group I (N = 60)	grupa II group II (N = 50)	
Wiek [lata] / Age [years] (M±SD)	22,13±1,58	21,95±1,32	0,895
Płeć / Sex			
kobiety / female [%]	55	56	0,798
mężczyźni / male [%]	45	44	0,784
Czas trwania snu nocnego [godz.] / Duration of night sleep [h] (M±SD)	3,8±1,19	7,5±0,62	<0,001
Używki / Stimulants [% badanych / % of subjects]			
papierosy / cigarettes	25	24	0,867
kawa / coffee	100	98	0,899

■ podgrupa IB (38 osób, w tym 25 kobiet i 13 mężczyzn) – sen nocny od ≥ 4 do ≤ 6 godz. (średnio $4,9 \pm 0,5$ godz.).

Popodzielana podgrupy zwrócono uwagę, że w podgrupie IB było 3-krotnie więcej kobiet niż w podgrupie IA, przy prawie równym rozdziale mężczyzn do obu podgrup. Wskazuje to, że kobiety przykładały większą uwagę do czasu snu nocnego w sesji egzaminacyjnej niż mężczyźni (średni czas snu kobiet z grupy I wynosił $4,69 \pm 0,61$ godz., a mężczyzn – $3,25 \pm 0,91$ godz.). Ponadto podczas sesji egzaminacyjnej prawie wszystkie osoby z obu podgrup skarżyły się na problemy z zasypianiem i częste wybudzenia w czasie i tak skróconego snu nocnego, a po przebudzeniu czuły się zmęczone.

Wszystkim studentom, którzy wyrazili pisemnie dobrowolną zgodę na udział w projekcie, wyjaśniano cel i przebieg badania. Poinformowano ich także, że udział w badaniach jest całkowicie anonimowy, oraz o możliwości odstąpienia od badań w każdej chwili i na każdym jego etapie bez podania przyczyny.

U wszystkich badanych osób wykonano rejestrację potencjałów wywołanych, które są nieinwazyjną metodą badania czynności bioelektrycznej mózgu związanej z procesami przetwarzania informacji na poziomach podkorowym i korowym. Do badania potencjałów ewokowanych użyto systemu diagnostycznego Viking – Quest (wersja 8.2–9.0, Nicolet Biomedical, Francja) pozwalającego ocenić czasową zależność między stymulacją bodźcem słuchowym lub wzrokowym a odpowiedzią.

Preferowanym bodźcem akustycznym był klik, czyli dźwięk o nieokreślonej wysokości i krótkim czasie trwania – do ok. 100 μ s, natężeniu 80 dB i częstotliwości ok. 10 Hz. W badaniu stosowano rejestrację przy stymulacji obuusznej, gdzie odpowiedzi pochodzą z obu stron. Wyniki słuchowych potencjałów wywołanych (*brainstem auditory evoked potentials* – BAEPs) przedstawiono w postaci wykresów, na których są zaznaczone załamki od I do V. Przed przystąpieniem do badania potencjałów słuchowych u pacjentów wykonywano badanie otoskopowe, aby ocenić drożność kanału słuchowego zewnętrznego.

W badaniu wzrokowych potencjałów wywołanych (*visual evoked potentials* – VEPs), preferowanym sposobem stymulacji obuocznej był wyświetlany na monitorze bodziec figuralny w postaci wzoru czarno-białej szachownicy, prezentowanym w konwencji *pattern reversal* z naprzemienną zmianą białych i czarnych pól kątowych o rozmiarze 54 i 13 min.

Wyniki badania VEPs przedstawiono w postaci wykresów, na których są zaznaczone załamki N_{75} , P_{100} i N_{135} . W przypadku wady wzroku badanie wykonano w korekcji okularowej, aby pacjent wyraźnie widział obraz szachownicy na monitorze.

Opisane badania wykonano w Pracowni Elektrofizjologii Katedry i Zakładu Patofizjologii Uniwersytetu Medycznego we Wrocławiu w latach 2018–2019. Należy zaznaczyć, że na wyniki badania mogą wpływać jego warunki techniczne, takie jak rodzaj aparatu do rejestracji potencjałów, rodzaj elektrod czy siła zastosowanego bodźca, a nawet rodzaj podłoża w pracowni. Z tego względu wyniki uzyskane w odrębnych ośrodkach mogą się różnić, jednak każda pracownia elektrofizjologiczna powinna mieć własne dane normatywne, odpowiednio do grup wiekowych uzyskane na podstawie badania zdrowych osób.

Ponadto wykonano badanie sprawności sensomotorycznej z użyciem miernika koordynacji wzrokowo-ruchowej MSS-2001E (GPE Psychotronics, Polska) Dwuwymiarowy układ podświetlanych przycisków na klawiaturze emituje bodźce świetlne w tempie narzuconym: 60/min, 75/min, 93/min, 107/min i 125/min, przekazując do układu szybkość i dokładność reakcji osoby badanej w reakcji prostej. Ograniczone pole spostrzegania bodźców wymusza na badanym zwiększoną koncentrację, dostarczając dodatkowych informacji diagnostycznych. Badanie koordynacji wzrokowo-ruchowej i precyzji ruchów kończyn górnych umożliwia określenie sprawności sensomotorycznej, wyrażonej w procentach, która była wypadkową takich zmiennych jak średnia liczba odpowiedzi, średni odsetek reakcji prawidłowych, średnia liczba błędów oraz średni czas reakcji na bodźce. W analizie porównawczej wyniki VEPs i BEAPs odniesiono do efektów badania sensomotorycznego.

Analizę statystyczną przeprowadzono z wykorzystaniem programu Statistica for Windows w wersji 7.1 (StatSoft, USA). Zmienne przedstawiono za pomocą średnich arytmetycznych i odchyłeń standardowych. Zgodność rozkładów z rozkładem normalnym sprawdzono za pomocą testu zgodności χ^2 Pearsona. W celu oszacowania istotności różnic między wynikami posłużono się testem t-Studenta dla prób niepowiązanych (w przypadku zmiennych o rozkładzie normalnym) lub testu Manna-Whitneya (w przypadku zmiennych o rozkładzie asymetrycznym). Istotność różnic między więcej niż 2 grupami testowano za pomocą analizy wariancji jednoczynnikowej ANOVA. Do określenia związków między zmiennymi

zastosowano jednoczynnikową analizę regresji liniowej z wyznaczeniem współczynników korelacji Spearmana. Ich istotność zweryfikowano testem Manna-Whitneya dla współczynnika korelacji. Za poziom istotności statystycznej przyjęto wartości $p < 0,05$.

Zastosowane procedury zostały zaakceptowane przez Komisję Bioetyczną Uniwersytetu Medycznego we Wrocławiu (zgoda Komisji Nr KB – 289/2016), przestrzegającej zasad Good Clinical Practice, zgodnej ze standardami Deklaracji Helsińskiej (wersja z 2013 r.).

WYNIKI

W tabeli 2 przedstawiono analizę porównawczą wyników badania sprawności sensomotorycznej u studentów z grupy I i jej podgrup oraz z grupy II.

Porównanie wyników w grupie I i II wykazało statystycznie istotne różnice średnich czasów reakcji dla wszystkich częstotliwości emisji bodźców świetlnych, natomiast pozostałe parametry badania sensomotorycznego różniły się istotnie dopiero od tempa emisji bodźców 75/min.

Porównanie podgrup IA i IB wykazało dla wszystkich składowych analizy różnice istotne statystycznie niezależnie od tempa emisji bodźca, przy czym osoby z podgrupy IA popełniały istotnie więcej błędów mimo dłuższych średnich czasów reakcji na bodziec świetlny.

Porównanie podgrupy IA z grupą II wypadło podobnie jak podgrup IA i IB. Z kolei porównanie podgrupy IB z grupą II wykazało statystycznie istotne różnice dopiero od częstotliwości bodźców 107/min i jedynie średni czas reakcji różnił się istotnie już przy tempie 93/min.

W podsumowaniu należy zauważyć, że sprawność sensomotoryczna będąca wypadkową wszystkich zmiennych badania wykazywała istotne różnice we wszystkich porównaniach grup i podgrup.

W tabeli 3 porównano wyniki badań wzrokowych (VEPs) i słuchowych (BAEPs) potencjałów wywołanych u studentów z grupy I i jej podgrup oraz z grupy II.

Analiza porównawcza załamków VEPs między grupą I a II wykazała istotnie dłuższe latencje w grupie I tylko w odniesieniu do załamków P_{100} i N_{135} w rejestracji obuocznej dla szachownicy 54 i 13 min. Z kolei przy porównaniu parametrów BAEPs w rejestracji obuusznej odnotowano istotnie dłuższą średnią latencję załamka V w grupie I niż w grupie II.

Analogiczne porównanie średnich latencji załamków VEPs w podgrupach IA i IB dla szachownicy 54 min wykazało istotnie dłuższe średnie latencje dla

załamków P_{100} i N_{135} w podgrupie IA. Dla szachownicy 13 min odnotowano natomiast w podgrupie IA istotnie dłuższe latencje wszystkich załamków VEPs, w tym dla N_{75} . Porównanie podgrup IA i IB nie wykazało istotnych różnic dla zmiennych BAEPs w rejestracji obuusznej.

Najwięcej różnic istotnych statystycznie wykazało porównanie podgrupy IA z grupą II, gdzie w podgrupie IA odnotowano istotnie dłuższe latencje zarówno wszystkich załamków VEPs dla obu szachownic, jak i dla załamka V BAEPs. Porównanie podgrupy IB z grupą II wykazało natomiast istotnie dłuższą latencję jedynie dla załamka V BAEPs w podgrupie IB. W żadnym z tych porównań nie wykazano różnic istotnych statystycznie dla IPL I–V (Inter Peak Latency I–V).

Do określenia związków wśród zmiennych wyznaczono korelacje między średnimi wynikami latencji załamków VEPs (N_{75} , P_{100} , N_{135}) dla szachownicy 54 i 13 min w zapisach obuocznych a średnimi wynikami badania sensomotorycznego oraz – analogicznie – między średnimi latencjami załamków BAEPs (V i IPL I–V) w zapisach obuusznych a średnimi wynikami badania sensomotorycznego.

W przeprowadzonej analizie nie stwierdzono żadnych istotnych korelacji w grupie II (kontrolnej), dlatego pominięto je w dalszej analizie. Korelacje uzyskane w grupie I przedstawiono w tabelach 4 i 5.

W grupie I dla szachownicy 54 min w rejestracji obuocznej uzyskano istotne korelacje między średnią latencją załamka P_{100} a wszystkimi parametrami badania sensomotorycznego przy częstotliwości bodźców 93, 107 i 125/min, natomiast dla N_{135} dopiero od częstotliwości bodźców 107/min. Dla szachownicy 13 min istotne korelacje wystąpiły między średnią latencją załamków P_{100} i N_{135} a wszystkimi parametrami badania sensomotorycznego przy częstotliwości bodźców 93, 107 i 125/min.

W tabeli 5 przedstawiono wyniki korelacji między średnią wartością odległości międzyszczytowej IPL I–V a średnim czasem reakcji na bodziec świetlny przy częstotliwości 93, 107 i 125/min. W tym porównaniu były to jedyne istotne korelacje między średnimi latencjami załamków BAEPs w zapisach obuusznych a średnimi wynikami badania sensomotorycznego w grupie I.

W tabeli 6 przedstawiono analizę porównawczą latencji załamków VEPs rejestracji obuocznej dla szachownicy 54 i 13 min oraz BAEPs w rejestracji obuusznej w grupach I i II w zależności od płci badanych osób. W grupie I nie wykazano żadnych istotnych różnic między kobietami a mężczyznami w odniesieniu

Tabela 2. Wyniki badania sensomotorycznego z uwzględnieniem tempa emisji bodźca świetlnego u osób z deprywacją snu (grupa I) i z grupy kontrolnej (grupa II) oraz w podgrupach IA i IB różniących się średnim czasem snu, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, czerwiec 2018 i 2019

Table 2. Results of sensorimotor research with regard to the rate of light stimulus in persons with sleep deprivation (group I) and the control group (group II), and in subgroups IA and IB, the research was conducted at the Wrocław Medical University in June 2018 and 2019

Zmienna Variable	Badani Participants (N = 110)				p			
	grupa I group I (N = 60)	grupa II group II (N = 50)	podgrupa IA subgroup IA (N = 22)	podgrupa IB subgroup IB (N = 38)	I:II	IA:II	IB:II	IA:IB
Tempo 60/min								
odpowiedzi / answers [n]	58,88±1,16	59,52±0,5	58,73±1,39	59,03±0,89	0,1	0,03	0,48	0,02
reakcje prawidłowe / correct reactions [%]	98,14±1,93	99,2±0,84	97,89±2,31	98,38±1,48	0,102	0,03	0,36	0,02
błędy / errors [n]	1,12±1,16	0,4±0,5	1,27±1,39	0,97±0,89	0,11	0,01	0,31	0,019
czas reakcji / reaction time [ms]	460,07±51,33	429,84±35,51	480,23±55,6	439,9±37,86	0,004	<0,001	0,16	0,005
Tempo 75/min								
odpowiedzi / answers [n]	71,82±4,1	74,02±0,97	70,4±5,38	73,23±1,22	0,04	0,01	0,28	0,004
reakcje prawidłowe / correct reactions [%]	95,75±5,47	98,69±1,29	93,86±7,17	97,64±1,63	0,005	0,003	0,29	0,004
błędy / errors [n]	3,98±4,1	0,98±0,97	4,6±5,38	1,77±1,22	0,006	0,002	0,11	0,007
czas reakcji / reaction time [ms]	463,03±78,29	419,1±34,5	498,93±92,15	429,13±40,14	<0,001	<0,001	0,08	<0,001
Tempo 93/min								
odpowiedzi / answers [n]	83,07±8,98	89,96±3,53	80,77±11,35	85,37±5,05	0,005	<0,001	0,072	<0,001
reakcje prawidłowe / correct reactions [%]	89,32±9,66	98,73±3,8	86,84±12,2	91,79±5,43	0,005	<0,001	0,061	<0,001
błędy / errors [n]	9,93±8,98	2,84±2,53	12,23±11,35	7,63±5,05	0,005	<0,001	0,059	<0,001
czas reakcji / reaction time [ms]	464,62±78,24	410,06±33,53	505,17±83,26	422,07±42,64	<0,001	<0,001	0,038	<0,001
Tempo 107/min								
odpowiedzi / answers [n]	90,6±13,02	101,6±3,96	86,17±14,68	95,03±9,42	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
reakcje prawidłowe / correct reactions [%]	84,67±12,16	94,95±3,7	80,53±13,72	88,81±8,8	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
błędy / errors [n]	16,4±13,02	5,4±3,96	20,83±14,68	11,97±9,42	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
czas reakcji / reaction time [ms]	455,35±76,84	399,04±32,21	510,5±79,17	415,2±47,3	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Tempo 125/min								
odpowiedzi / answers [n]	79,68±18,66	108,04±11,8	70,1±16,24	89,26±16,08	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
reakcje prawidłowe / correct reactions [%]	63,12±16,71	86,43±9,42	54,75±15,98	71,49±13,05	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
błędy / errors [n]	45,32±18,66	16,96±11,8	54,9±16,24	35,73±16,08	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
czas reakcji / reaction time [ms]	438,32±62,14	388,12±32,87	479,13±59,15	406,5±47,19	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
sprawność sensomotoryczna / sensorimotor performance [%]	86,2±16,21	95,2±6,7	82,77±18,87	89,63±12,16	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Podgrupa IA / Subgroup IA – średni czas snu 2,3±0,8 godz. / sleep duration 2.3±0.8 h on average.

Podgrupa IB / Subgroup IB – średni czas snu 4,9±0,5 godz. / sleep duration 4.9±0.5 h on average.

do latencji załamków zarówno VEPs, jak i BAEPs. W grupie II jedynie w odniesieniu do załamka P₁₀₀ wykazano istotnie krótsze latencje u kobiet niż u mężczyzn, z kolei w odniesieniu do latencji załamków BAEPs, tak jak w grupie I, nie wykazano żadnych istotnych różnic.

OMÓWIENIE

Doniesienia ostatnich lat coraz częściej wskazują na wzajemne powiązania deprywacji snu i ubytków poznawczych [12,15,16]. U studentów, zwłaszcza w czasie sesji egzaminacyjnej, dość powszechnie występuje

Tabela 3. Latencje załamek wzrokowych potencjałów wywołanych (VEPs) w rejestracji obuocznej i załamek słuchowych potencjałów wywołanych z pnia mózgu (BAEPs) w rejestracji obuusznej u osób z deprywacją snu (grupa I) i z grupy kontrolnej (grupa II) oraz w podgrupach IA i IB różniących się średnim czasem snu, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, czerwiec 2018 i 2019

Table 3. Visual evoked potentials (VEPs) waves latencies in biocular registration and brainstem auditory evoked potentials (BAEPs) waves latencies in binaural registration in persons with sleep deprivation (group I) and the control group (group II), and in subgroups IA and IB, the research was conducted at the Wrocław Medical University in June 2018 and 2019

Parametr Parameter	Badani Participants (N = 110)				p			
	grupa I group I (N = 60)	grupa II group II (N = 50)	podgrupa IA subgroup IA (N = 22)	podgrupa IB subgroup IB (N = 38)	I:II	IA:II	IB:II	IA:IB
Wzrokowe potencjały wywołane / Visual Evoked Potentials (VEPs)								
szachownica 54 min / checkerboard size 54 min								
latencja załamek N ₇₅ / latency of wave N ₇₅ [ms]	70,39±7,23	68,46±5,23	72,16±8,39	69,43±6,28	0,19	0,04	0,485	0,124
latencja załamek P ₁₀₀ / latency of wave P ₁₀₀ [ms]	103,21±5,79	99,18±4,35	105,69±5,32	100,12±4,84	0,031	<0,001	0,316	<0,001
latencja załamek N ₁₃₅ / latency of wave N ₁₃₅ [ms]	139,99±12,88	132,27±12,57	145,82±9,78	133,63±7,82	0,021	<0,001	0,465	<0,001
szachownica 13 min / checkerboard size 13 min								
latencja załamek N ₇₅ / latency of wave N ₇₅ [ms]	79,98±4,58	78,25±4,27	82,68±,31	78,98±3,69	0,063	0,001	0,628	<0,001
latencja załamek P ₁₀₀ / latency of wave P ₁₀₀ [ms]	104,82±6,42	101,64±4,61	108,86±7,97	102,29±1,29	0,035	<0,001	0,329	<0,001
latencja załamek N ₁₃₅ / latency of wave N ₁₃₅ [ms]	140,12±12,33	136,13±10,57	146,72±11,85	137,34±10,76	0,029	0,001	0,411	<0,001
Słuchowe potencjały wywołane z pnia mózgu / / Brainstem Auditory Evoked Potentials (BAEPs)								
latencja załamek V / latency of wave V [ms]	5,86±0,23	5,66±0,22	5,89±0,28	5,82±0,21	0,0022	0,001	0,004	0,62
odległość międzyszczytowa I-V / interpeak latency I-V [ms]	4,11±0,22	4,07±0,21	4,13±0,28	4,09±0,19	0,391	<0,362	0,63	0,58

Podgrupa IA / Subgroup IA – średni czas snu 2,3±0,8 godz. / sleep duration 2.3±0.8 h on average.

Podgrupa IB / Subgroup IB – średni czas snu 4,9±0,5 godz. / sleep duration 4.9±0.5 h on average.

chroniczny deficyt snu, co istotnie wpływa na zwiększoną senność w ciągu dnia i prowadzi do przewlekłego zmęczenia. Kumulujące się zmęczenie jest subiektywnie oceniane jako większe, gdy praca jest wykonywana nocą niż w ciągu dnia [12]. Ilość snu nocnego jest ściśle związana z szybkością przyswajania i zapamiętywania wiedzy, co z kolei jest związane z wynikami w nauce. W badaniach, w których sen był ograniczany lub optymalizowany, wykazano, odpowiednio, pogorszenie lub poprawę wyników neuropsychologicznych i osiągnięć akademickich [15].

W niniejszej pracy do oceny procesów poznawczych wykorzystano badanie sensomotoryczne oraz wzrokowe i słuchowe potencjały wywołane.

Badania sensomotoryczne pozwalające ocenić szybkość i adekwatność reakcji są skierowane na ocenę obwodowych reakcji motorycznych, będących efektem zmian ośrodkowych. Procesy poznawcze odpowiadają za prawidłowe postrzeganie i wstępną analizę bodźców, jednak to właśnie reakcja motoryczna jest efektem

końcowym całego procesu przetwarzania informacji. Ocena koordynacji wzrokowo-ruchowej umożliwia obserwację realnych reakcji badanego w sytuacji presji czasu i zróżnicowanej trudności zadania, co pozwala dodatkowo ocenić procesy uwagi.

W niniejszym badaniu głównym wyznacznikiem był czas reakcji oceniany na podstawie reakcji prostej, który upływa od chwili zadziałania bodźca do reakcji na ten bodziec. Ponadto oceniano liczbę udzielonych odpowiedzi, w tym odsetek odpowiedzi poprawnych oraz liczbę popełnionych błędów. Podsumowaniem całego badania była ocena sprawności sensomotorycznej jako wypadkowej wszystkich parametrów badania sensomotorycznego.

W pierwszej kolejności porównano wyniki uzyskane w grupach I i II (tabela 2), w których badanie wykonano w tempie narzuconym: 60/min, 75/min, 93/min, 107/min i 125/min.

W grupie II (kontrolnej) wraz ze wzrostem tempa pobudzeń stopniowo zmniejszał się średni czas reakcji

Tabela 4. Korelacje między wynikami badania sensomotorycznego a latencją załamków P₁₀₀ i N₁₃₅ dla szachownicy 54 i 13 min u osób z deprivacją snu (grupa I, N = 60), Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, czerwiec 2018 i 2019

Table 4. Correlations between results of sensorimotor research and latency of waves P₁₀₀ and N₁₃₅ on the checkerboard size 54 and 13 min in persons with sleep deprivation (group I, N = 60), the research was conducted at the Wrocław Medical University in June 2018 and 2019

Parametr Parameter	Latencja załamków Latency of waves							
	P ₁₀₀				N ₁₃₅			
	szachownica 54 min checkerboard size 54 min		szachownica 13 min checkerboard size 13 min		szachownica 54 min checkerboard size 54 min		szachownica 13 min checkerboard size 13 min	
	r	p	r	p	r	p	r	p
Tempo 93/min								
odpowiedzi / answers [n]	-0,367	0,001	-0,265	0,019	-0,069	0,568	-0,325	0,004
reakcje prawidłowe / correct reactions [%]	-0,364	0,001	-0,265	0,019	-0,069	0,568	-0,327	0,003
błędy / errors [n]	0,361	0,001	0,265	0,019	0,048	0,699	0,325	0,004
czas reakcji / reaction time [ms]	0,286	0,009	0,326	0,003	0,072	0,798	0,317	0,004
Tempo 107/min								
odpowiedzi / answers [n]	-0,318	0,004	-0,226	0,048	-0,358	0,001	-0,263	0,02
reakcje prawidłowe / correct reactions [%]	-0,316	0,004	-0,225	0,049	-0,357	0,001	-0,262	0,02
błędy / errors [n]	0,318	0,004	0,226	0,048	0,358	0,001	0,263	0,02
czas reakcji / reaction time [ms]	0,298	0,007	0,302	0,007	0,338	0,002	0,226	0,048
Tempo 125/min								
odpowiedzi / answers [n]	-0,228	0,041	-0,281	0,013	-0,289	0,009	-0,225	0,046
reakcje prawidłowe / correct reactions [%]	-0,229	0,041	-0,279	0,013	-0,288	0,010	-0,224	0,048
błędy / errors [n]	0,228	0,041	0,281	0,013	0,289	0,009	0,226	0,047
czas reakcji / reaction time [ms]	0,286	0,011	0,301	0,01	0,232	0,039	0,223	0,049
sprawność sensomotoryczna / sensorimotor performance [%]	-0,298	0,008	-0,285	0,011	-0,358	0,001	-0,225	0,046

Tabela 5. Korelacje między średnim czasem reakcji a odległością międzyszczytową I-V u osób z deprivacją snu (grupa I, N = 60), Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, czerwiec 2018 i 2019

Table 5. Correlations between mean reaction time and interpeak latency I-V in persons with sleep deprivation (group I, N = 60), the research was conducted at the Wrocław Medical University in June 2018 and 2019

Parametr Parameter	Odległość międzyszczytowa I-V Interpeak latency I-V	
	r	p
Czas reakcji / Reaction time		
tempo 93/min	0,275	0,014
tempo 107/min	0,244	0,029
tempo 125/min	0,221	0,048

na bodziec z nieznacznym pogorszeniem dokładności reakcji, dopiero przy częstotliwości 125/min istotnie wzrosła średnia liczba błędów ($p < 0,001$), co wskazuje,

że osoby z grupy II kładły nacisk zarówno na szybkość, jak i na dokładność reakcji. W grupie I odnotowano odwrotny kierunek zmian średniego czasu reakcji, który tutaj rósł ze wzrostem tempa pobudzeń, przy czym pomimo wydłużenia czasu reakcji osoby z grupy I wykonywały badanie z mniejszą dokładnością (tabela 2). Przy porównaniu obu grup jedynie przy tempie 60/min nie wykazano istotnych różnic w dokładności wykonania badania, jednak kosztem wydłużenia czasu reakcji w grupie I.

Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że w porównaniu z grupą kontrolną osoby z grupy I charakteryzowały się gorszą percepcją, czujnością uwagi oraz koncentracją uwagi na wykonywanym zadaniu. Czujność uwagi utrzymuje organizm w gotowości do reakcji na szybko pojawiający się bodziec sensoryczny oraz do uruchamiania innych funkcji poznawczych. Jest ona zależna od pory dnia, ale przede wszystkim od poziomu

Tabela 6. Latencje załamek wzrokowych potencjałów wywołanych (VEPs) w rejestracji obuocznej i załamek słuchowych potencjałów wywołanych z pnia mózgu (BAEPs) w rejestracji obuusznej u kobiet i mężczyzn z deprywacją snu (grupa I) i z grupy kontrolnej (grupa II), Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, czerwiec 2018 i 2019

Table 6. Visual evoked potentials (VEPs) waves latencies in biocular registration and brainstem auditory evoked potentials (BAEPs) waves latencies in binaural registration in female and male with sleep deprivation (group I) and control group (group II), the research was conducted at the Wrocław Medical University in June 2018 and 2019

Parametr Parameter	Badani Participants (N = 110)				p	
	grupa I group I (N = 60)		grupa II group II (N = 50)		KI:MI FI:MI	KII:MII FII:MII
	kobiety female (N = 33)	mężczyźni male (N = 27)	kobiety female (N = 28)	mężczyźni male (N = 22)		
Wzrokowe potencjały wywołane / Visual evoked potentials (VEPs)						
szachownica 54 min / checkerboard size 54 min						
latencja załamek N ₇₅ / latency of wave N ₇₅ [ms]	69,919±7,46	70,85±8,09	67,98±5,67	68,89±6,42	0,423	0,465
latencja załamek P ₁₀₀ / latency of wave P ₁₀₀ [ms]	102,73±5,29	103,65±5,86	98,46±4,51	100,01±5,02	0,398	0,049
latencja załamek N ₁₃₅ / latency of wave N ₁₃₅ [ms]	139,47±12,88	140,48±12,34	131,73±11,98	132,69±8,61	0,346	0,469
szachownica 13 min / checkerboard size 13 min						
latencja załamek N ₇₅ / latency of wave N ₇₅ [ms]	79,56±4,15	80,38±4,72	77,91±4,97	78,64±4,11	0,541	0,528
latencja załamek P ₁₀₀ / latency of wave P ₁₀₀ [ms]	104,34±6,92	105,31±7,09	100,84±4,21	102,58±2,12	0,439	0,049
latencja załamek N ₁₃₅ / latency of wave N ₁₃₅ [ms]	139,49±11,83	140,77±12,11	135,56±10,78	136,81±11,02	0,371	0,358
Słuchowe potencjały wywołane z pnia mózgu / Brainstem auditory evoked potentials (BAEPs)						
latencja załamek V / latency of wave V [ms]	5,82±0,31	5,91±0,56	5,62±0,12	5,71±0,98	0,634	0,628
odległość międzyszczytowa I-V / interpeak latency I-V [ms]	4,09±0,26	4,14±0,43	4,06±0,52	4,08±0,89	0,631	0,687

KI:MI / FI:MI – porównanie kobiet i mężczyzn z grupy I / comparison of female and male from group I.

KII:MII / FII:MII – porównanie kobiet i mężczyzn z grupy II / comparison of female and male from group II.

zmęczenia umysłowego i fizycznego, który zwiększa się wraz ze wzrostem deficytu snu nocnego [17].

Ciekawych informacji dostarczyła analiza badania psychomotorycznego po podziale na podgrupy IA i IB (tabela 2). Już na wstępie należy zauważyć, że kierunek zmian średniego czasu reakcji i pozostałych parametrów tego badania był w podgrupie IA analogiczny jak w grupie I, a w podgrupie IB – jak w grupie II.

W podgrupie IA zaobserwowano wyraźny spadek dokładności reakcji wyrażony dynamicznym wzrostem reakcji błędnych (od 1,27±1,39 do 54,9±16,24) wraz ze wzrostem tempa emisji bodźców (tabela 2). W podgrupie IB analogiczny przyrost błędów nie był już tak gwałtowny (od 0,97±0,89 do 35,73±16,08). Można zatem stwierdzić, że osoby z podgrupą IA, u których średni czas trwania snu nocnego wynosił 2,3±0,8 godz., charakteryzowały się znacznie gorszą

koncentracją uwagi na zadaniu i precyzją jego wykonania niż osoby z podgrupą IB, u których średni czas trwania snu nocnego wynosił 4,9±0,5 godz. W porównaniu podgrupą IA z zarówno podgrupą IB, jak i z grupą II wykazano istotnie gorsze wyniki w odniesieniu do wszystkich zmiennych badania psychomotorycznego na kolejnych poziomach emisji bodźca łącznie ze sprawnością sensomotoryczną, co może być spowodowane nie tylko gorszą percepcją i przetwarzaniem bodźców, ale także gorszą reakcją wykonawczą u osób z podgrupą IA.

Do podobnych wniosków doszli także Goel i wsp. [18], którzy wykazali, że deficyt snu wpływa negatywnie nie tylko na sprawność poznawczą, ale także na funkcje motoryczne i na nastrój. Również Curcio i wsp. [15] stwierdzili, że zdolności poznawcze są zależne od ilości snu nocnego.

Zupełnie inaczej wyglądało porównanie podgrupy IB z grupą kontrolną, gdzie różnice istotne statystycznie, dotyczące wszystkich zmiennych badania sensomotorycznego, wystąpiły tylko na najwyższych poziomach częstotliwości bodźców (107/min i 125/min), co potwierdza wcześniejsze spostrzeżenia, że osoby z podgrupy IB wykazywały mniej ubytków kognitywnych niż badani z podgrupy IA.

Podsumowując powyższe wyniki, warto zauważyć, że czynnikiem różnicującym jakość zdolności poznawczych jest czas trwania snu nocnego. Jak już wspomniano, prawie wszystkie osoby z grupy I skarżyły się na problemy z zasypianiem i częste wybudzenia w czasie snu, co mogło być także związane ze stresem egzaminacyjnym. Osoby, u których średni czas trwania snu nocnego wynosił $2,3 \pm 0,8$ godz. (podgrupa IA), charakteryzowały się nie tylko znacznie gorszym postrzeganiem bodźców oraz czujnością i koncentracją uwagi na wykonywanym zadaniu, ale także precyzją jego wykonania. Deprywacja snu powodowała uczucie zmęczenia psychofizycznego, co również mogło wpływać na zaburzenia procesów kognitywnych oraz na czas reakcji na bodziec, na co zwracali uwagę także inni autorzy [11,17–19].

Badania potencjałów wywołanych umożliwiają ocenę czynności bioelektrycznej mózgu, która jest związana z procesami percepcji i przetwarzania bodźców na poziomach pniowym i korowo-podkorowym. Atutem tych badań jest ich nieinwazyjność, niski koszt i obiektywizm, ponieważ osoba badana nie ma świadomego wpływu na odbiór bodźca dźwiękowego czy świetlnego. W badaniach tych najczęściej ocenia się parametry zależne od procesów poznawczych, które powodują zmiany latencji i/lub amplitudy załamek [20].

W badaniu VEPs uwzględniono średnie latencje załamek N_{75} , P_{100} i N_{135} . Załamek N_{75} jest związany z wczesnym postrzeganiem bodźców, czyli z ich percepcją, natomiast załamki P_{100} i N_{135} są powiązane z procesami uwagi i odpowiadają za wstępną identyfikację bodźca [21]. W badaniu zrezygnowano z analizy amplitud, gdyż bezwzględna wielkość latencji jest bardziej wiarygodna i mniej podatna na zmiany niż bezwzględna wielkość amplitudy. Wykazano, że u osób zdrowych zmienność latencji w ramach poszczególnych badań wynosiła 2–5%, podczas gdy amplituda wykazywała dużą zmienność osobniczą (2–30 μV) i była mniej użyteczna klinicznie [22]. Ponadto pomiar amplitudy jest niejednoznaczny ze względu na jego korelację z obniżeniem ostrości wzroku, a przy rejestracji obuocznej występuje dodatkowo rozrzut amplitud.

Analizę porównawczą latencji załamek VEPs wykonano w rejestracji obuocznej dla szachownicy z wartościami pól kątowych 54 min i 13 min. Szachownica, jako bodziec figuralny typu *pattern reversal*, umożliwiła stałą ilość światła padającego na siatkówkę. Przy użyciu szachownicy z małymi polami następuje pobudzenie z centralnych pól siatkówki, a przy użyciu większych pól uzyskuje się odpowiedź z peryferyjnego obszaru siatkówki [23,24].

Porównanie grup I i II wykazało statystycznie różnice w odniesieniu do załamek P_{100} i N_{135} dla szachownicy zarówno 54 min, jak i 13 min (tabela 3). Różnice te były jeszcze bardziej widoczne po podziale grupy I na podgrupy (tabela 3). W porównaniu podgrup wykazano w podgrupie IA istotnie dłuższe latencje załamek P_{100} i N_{135} dla szachownicy 54 min, a dla szachownicy 13 min wydłużenie latencji wszystkich badanych załamek: N_{75} , P_{100} i N_{135} . Przedłużenie latencji załamka P_{100} mogło być także związane z zespołem zmęczenia [25].

Powyższa analiza porównawcza dowodzi, że osoby ze skróceniem snu nocnego średnio do $2,3 \pm 0,8$ godz. (podgrupa IA) gorzej odbierają sygnał z centralnego pola siatkówki mniejszej szachownicy niż z dużych pól szachownicy, gdzie natężenie bodźca jest mniejsze. Zmęczenie związane z deficytem snu, jak w podgrupie IA, może być przyczyną gorszej koncentracji uwagi na głównych szczegółach oraz jej rozproszenia na tych nieistotnych, dlatego więcej zmian wystąpiło dla szachownicy 13 min. W takiej sytuacji umysł postrzega i zapamiętuje przypadkowe, często nieistotne wiadomości, natomiast ogranicza zapamiętywanie innych. Tego typu zaburzeń nie zaobserwowano u osób z podgrupy IB, u których sen nocny trwał średnio $4,9 \pm 0,5$ godz.

Kontynuacją powyższej analizy było porównanie obu podgrup z grupą kontrolną (tabela 3), które wykazało istotne dłuższe latencje wszystkich załamek VEPs dla szachownicy 54 min i 13 min w podgrupie IA, natomiast analogiczne porównanie dla podgrupy IB nie wykazało żadnych istotnych różnic, co potwierdza wcześniejsze spostrzeżenia dotyczące związku czasu trwania snu nocnego z zaburzeniami funkcji poznawczych.

Opisane zmiany w obrębie średniolatencyjnych potencjałów wzrokowych, zależnych od uwagi, świadczą, że przebieg drogi wzrokowej odbywa się w tzw. mózgu kognitywnym, czyli w strukturach korowo-podkorowych odpowiadających także za postrzeganie i koncentrację uwagi [26].

W ocenie BAEPs uwzględniono średnie latencje załamka V i odległość międzyszczytową załamek I–V

(IPL I–V). Załamek V pochodzi z pnia mózgu i jest związany z procesami percepcyjnymi, a odległość międzyszczytowa załamek I–V jest wyrazem szybkości transmisji bodźca do pnia mózgu [20].

Analiza parametrów BAEPs w rejestracji obuusznej wykazała, że średnia latencja załamka V była istotnie dłuższa zarówno w grupie I, jak i w obu jej podgrupach (IA i IB) niż w grupie II (tabela 3), co jednak nie wpływało na odległość międzyszczytową załamek I–V (IPL I–V). Nie wykazano natomiast żadnych istotnych różnic przy porównaniu parametrów BAEPs w podgrupach IA i IB. Przedłużenie latencji składowej V w tym porównaniu jest skutkiem zmęczenia wynikającego z deprywacji snu. Należy także pamiętać, że sesji egzaminacyjnej towarzyszą przewlekły stres i związany z nim wzrost napięcia mięśniowego, które mogą nasilać uczucie zmęczenia psychofizycznego [25]. Ponadto związane ze stresem problemy ze snem i senność w ciągu dnia potęgują uczucie zmęczenia.

Pomiar latencji jest wskaźnikiem szybkości przeniesienia impulsów wzrokowych i słuchowych, natomiast głównym kryterium oceny badań psychomotorycznych jest czas reakcji, który wykazuje korelacje z latencją większości załamek potencjałów wywołanych.

Na wstępie warto zwrócić uwagę, że w badaniu VEPs nie wykazano żadnych istotnych korelacji dla załamka N_{75} , który jest związany z wczesnym postrzeganiem bodźców, co wskazuje, że u osób z grupy I latencje tego załamka są prawidłowe lub nieistotnie wydłużone (tabela 3). Z kolei w porównaniu latencji załamek P_{100} i N_{135} z wynikami badania psychomotorycznego wykazano istotne korelacje zarówno dodatnie, jak i ujemne (tabela 4).

Oba załamki są powiązane z procesami uwagi, więc wydłużenie ich latencji wskazuje na zaburzenia koncentracji uwagi na wykonywanym zadaniu, co tłumaczy dodatnie korelacje z liczbą reakcji błędnych oraz z czasem reakcji na bodziec oraz ujemne korelacje z liczbą udzielonych odpowiedzi, w tym z odsetkiem reakcji prawidłowych. Jak już wspomniano, u osób z deprywacją snu występują zaburzenia koncentracji uwagi, dlatego więcej istotnych korelacji wykazano dla szachownicy 13 min, z której uzyskiwana jest odpowiedź z centralnych pól siatkówki, niż dla szachownicy 54 min związanej z postrzeganiem peryferyjnym (tabela 4). W podsumowaniu należy podkreślić, że istotnie ujemne korelacje wystąpiły między latencją załamek P_{100} i N_{135} a sprawnością sensomotoryczną dla szachownicy zarówno 13 min, jak i 54 min, co wskazuje, że wraz z wydłużeniem latencji załamek VEPs obserwujemy silniejsze

zaburzenia procesów poznawczych. Zależności te mogą wynikać z tego, że przewodnictwo w drodze wzrokowej jest powiązane z odbiorem bodźca generowanego w badaniu psychomotorycznym.

W zakresie badania BAEPs nie wykazano korelacji między latencją załamka V a wynikami badania psychomotorycznego, co zdaje się potwierdzać, że wydłużenie latencji tego załamka jest bardziej związane z występującym w deprywacji snu zmęczeniem psychofizycznym niż z procesami uwagi.

Nieco zaskakujące są istotne korelacje dodatnie między średnią wartością IPL I–V w odpowiedzi obuusznej a średnim czasem reakcji na bodziec świetlny (tabela 5). Są to jedyne istotne statystycznie korelacje parametrów drogi słuchowej z czasem reakcji sensomotorycznej. Biorąc jednak pod uwagę, że przedłużenie IPL I–V jest czułym wskaźnikiem przewodzenia bodźców w obrębie pnia mózgu do struktur korowych, wówczas jego związek z czasem reakcji na bodziec świetlny staje się bardziej zrozumiały [20]. Ponadto zwrócono uwagę, że wraz ze wzrostem tempa bodźca świetlnego korelacja ta słabnie (tabela 5). Objaw ten może wynikać z tego, że upośledzenie szybkości transmisji bodźca obejmuje drogę wzrokową i słuchową, co wpływa na czas reakcji wykonawczej na bodziec. Zaburzenia transmisji w odcinku drogi słuchowej i wzrokowej w przypadku zaburzeń funkcji poznawczych mają charakter czynnościowy i w związku z tym mogą być odwracalne.

Zupełnie inaczej wyglądało to w grupie kontrolnej, w której nie wykazano żadnych istotnych korelacji między parametrami VEPs i BAEPs a wynikami badania psychomotorycznego, co może być związane z pewną przypadkowością wyników, które chociaż mieszczą się w zakresie normy fizjologicznej, to mogą się znacznie różnić u poszczególnych osób z grupy kontrolnej. Z kolei deficyt snu działa jednokierunkowo, powodując wydłużenie latencji i czasów reakcji oraz większą liczbę błędów w odpowiedzi na bodźce, co paradoksalnie obiektywizuje i ujednolica uzyskane wyniki, przyczyniając się do powstania istotnych korelacji między tymi zmiennymi.

Ostatnią przedstawioną w niniejszej pracy analizą było porównanie latencji załamek VEPs i BAEPs w grupach I i II w zależności od płci badanych osób (tabela 6). Płeć jest ważną zmienną wpływającą na VEPs, jednak dokładna przyczyna różnic między płciami nie jest do końca jasna i może być związana także z innymi czynnikami, takimi jak wiek, temperatura ciała, wielkość głowy czy przemiany hormonalne [27].

W grupie kontrolnej wykazano krótsze latencje załamka P_{100} u kobiet niż u mężczyzn (tabela 6), jednak różnice te były niewielkie – na granicy istotności statystycznej ($p = 0,049$). Podobne wyniki uzyskali w swoich badaniach Gregori i wsp. [28]. Z kolei z badań innych autorów wynika, że różnice latencji załamka P_{100} w zależności od płci były wysoce istotne statystycznie, a znacznie krótsze (od 2–4 ms) latencje załamka P_{100} u kobiet, wynikały zdaniem autorów z wyższej temperatury ciała kobiet, jednak nie miały związku z wielkością głowy [27]. Do innych wniosków doszli autorzy drugiej pracy, którzy poza związkiem parametrów VEPs z temperaturą ciała wykazali również istotne korelacje załamka P_{100} z wielkością głowy [28]. Potwierdza to wcześniejsze spostrzeżenie, że wyniki różnych badaczy mogą być odmienne w zależności od warunków, w których były prowadzone badania, w tym warunków technicznych pracowni. Poza tym żadne z cytowanych badań nie było prowadzone w warunkach deprywacji snu.

Z kolei w grupie osób z deprywacją snu nie wykazano żadnych istotnych różnic w odniesieniu do latencji załamek VEPs w zależności od płci badanych osób (tabela 6). Skrócenie snu nocnego może mieć znaczenie ze względu na związek czasów latencji z temperaturą ciała. U kobiet wyższa temperatura jest uznawana przez większość autorów za przyczynę skrócenia latencji załamka P_{100} . Tuż przed zaśnięciem i w trakcie snu nocnego temperatura ciała spada u obu płci, więc jego skrócenie może zaburzyć ten proces. W niniejszym badaniu średni czas snu nocnego był o >1 godz. krótszy u mężczyzn ($3,25 \pm 0,91$ godz.) niż u kobiet ($4,69 \pm 0,61$ godz.) z grupy I. Mogło to prowadzić do zmniejszenia nocnego spadku średniej temperatury ciała u mężczyzn, a zarazem przyczynić się do wyrównania temperatury ciała w zależności od płci, a więc i różnic latencji załamek VEPs u badanych osób (tabela 6), zwłaszcza w godzinach porannych, gdy przeprowadzano badania.

W obu badanych grupach nie wykazano natomiast żadnych istotnych różnic między kobietami a mężczyznami w odniesieniu do parametrów BAEPs (tabela 6), co może być zgodne z obserwacją innych autorów, według których wydłużenie latencji załamka V jest związane bardziej z wiekiem niż z płcią [29].

Analiza uzyskanych wyników wykazała, że ucząc się w nocy, studenci w czasie sesji egzaminacyjnej skracają czas snu. Warto jednak zauważyć, że kobiety bardziej zwracają uwagę na czas trwania snu i stosują mniej używek podczas sesji niż mężczyźni. Należy podkreślić, że badania były prowadzone wśród studentów medycyny, którzy powinni wiedzieć, jak ważną rolę pełni

sen w regeneracji organizmu człowieka, a zwłaszcza w prawidłowym przebiegu procesów umysłowych, takich jak sprawność intelektualna, funkcje poznawcze czy zapamiętywanie nowo poznanych treści, czyli ich konsolidacja w pamięci długotrwałej.

Chroniczne ograniczenie snu zwiększa także podatność na choroby układów krążenia i oddechowego, obniża odporność i podatność na infekcje oraz powoduje wzrost używania leków. Wykazano także związek między skróceniem snu nocnego a insulinoopornością, nietolerancją glukozy i cukrzycą. Skrócenie snu <6 godz. skutkuje istotnym zwiększeniem apetytu i ilości przyjmowanego wysokoenergetycznego pokarmu, co w konsekwencji prowadzi do otyłości. Poza tym niedobór snu wiąże się z wyższym stężeniem amyloidu beta, powodującego chorobę Alzheimera, a także zmniejszenie ilości neuroprzekazników kontrolujących nastroj i może wywoływać stany depresyjne [11,30]. Przytoczone przykłady dowodzą, że deprywacja snu powoduje wiele negatywnych efektów psychosomatycznych.

WNIOSKI

- U osób z deprywacją snu (grupa I) wyniki badań wzrokowych (VEPs) i słuchowych (BAEPs) potencjałów wywołanych oraz badania psychomotorycznego wskazywały na zaburzenia procesów poznawczych. W badaniu VEPs obserwowano istotnie dłuższe latencje załamek zależnych od uwagi (P_{100} i N_{135}) u osób z grupy I niż u badanych z grupy kontrolnej. Z kolei w badaniu BAEPs obserwowano w grupie I przedłużenie latencji załamka V, które można odnieść do występującego w deprywacji snu poczucia zmęczenia.
- Analiza wyników badania psychomotorycznego wykazała, że wraz ze skróceniem snu nocnego występował spadek szybkości i adekwatności reakcji. W grupie I odnotowano istotnie gorsze wyniki sprawności sensomotorycznej, co mogło być spowodowane nie tylko gorszą percepcją i przetwarzaniem bodźców, ale także gorszą reakcją wykonawczą w porównaniu z grupą kontrolną.
- Wykazano istotne korelacje latencji załamek potencjałów wywołanych z wynikami badania psychomotorycznego. W odniesieniu do BAEPs wystąpiły dodatkowo korelacje między czasem reakcji na bodziec a latencją odległości międzyszybowej I–V, będącej czułym wskaźnikiem szybkości przewodzenia informacji do struktur korowych. Z kolei ujemne korelacje między latencją

załamków VEPs (P_{100} i N_{135}) a sprawnością somomotoryczną wskazują, że wraz z wydłużeniem latencji załamków VEPs obserwowano wzrost ubytków poznawczych.

- Ilość i jakość snu wpływały na występowaniem dysfunkcyjnych schematów poznawczych, związanych z procesami uwagi oraz szybkością przyswajania i zapamiętywania wiedzy, co mogło rzutować na osiągnięcia akademickie.

PIŚMIENNICTWO

- Fuller PM, Gooley JJ, Saper CB. Neurobiology of the sleep-wake cycle: sleep architecture, circadian regulation, and regulatory feedback. *J Biol Rhythms*. 2006;21:482–493. <https://doi.org/10.1177/0748730406294627>.
- Siegel JM. Do all animals sleep? *Trends Neurosci*. 2008;31:208–213. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2008.02.001>.
- Steriade M. The corticothalamic system in sleep. *Front Biosci*. 2003;8:d878–899. <https://doi.org/10.2741/1043>.
- Saper CB. The neurobiology of sleep. *Continuum (Minneapolis)* 2013;19(1 Sleep Disorders):19–31. <https://doi.org/10.1212/01.CON.0000427215.07715.73>.
- Ackermann S, Rasch B. Differential effects of non-REM and REM sleep on memory consolidation? *Curr Neurol Neurosci Rep*. 2014;14(2):430. <https://doi.org/10.1007/s11910-013-0430-8>.
- Blumberg MS, Lesku JA, Libourel PA, Schmidt MH, Rattenborg NC. What Is REM Sleep? *Curr Biol*. 2020;30(1):R38–R49. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.11.045>.
- Le Doux J. To coś osobistego: jak pamięć wpływa na świadomość. In: Le Doux J, editor. *Lęk. Neuronauka na tropie źródeł lęku i strachu*. Kraków: Copernicus Center Press; 2017. p. 313–346.
- Huber R, Ghilardi MF, Massimini M, Tononi G. Local sleep and learning. *Nature*. 2004;430:78–81. <https://doi.org/10.1038/nature02663>.
- Miyamoto D, Hirai D, Murayama M. The roles of cortical slow waves in synaptic plasticity and memory consolidation. *Front Neural Circuits*. 2017;11:92. <https://doi.org/10.3389/fncir.2017.00092>.
- Peever J, Fuller PM. The biology of REM sleep. *Curr Biol*. 2017;27(22):R1237–R1248. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.10.026>.
- Miletínová E, Bušková J. Functions of sleep. *Physiol Res*. 2021;70(2):177–182. <https://doi.org/10.33549/physiolres.934470>.
- Killgore WD. Effects of sleep deprivation on cognition. *Prog Brain Res*. 2010;185:105–129. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53702-7.00007-5>.
- National Sleep Foundation [Internet]. The Organization; 2022 [cited 2022 Apr 13]. How Sleep Works: Understanding the Science of Sleep. Available from: <https://www.sleepfoundation.org/how-sleep-works>.
- Rattenborg NC, Lesku JA, Martinez-Gonzalez D, Lima SL. The non-trivial functions of sleep. *Sleep Med Rev*. 2007;11:405–409. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2007.04.003>.
- Curcio G, Ferrara M, De Gennaro L. Sleep loss, learning capacity and academic performance. *Sleep Med Rev*. 2006;10(5):323–337. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2005.11.001>.
- Hudson AN, Van Dongen HPA, Honn KA. Sleep deprivation, vigilant attention, and brain function: a review. *Neuropsychopharmacology*. 2020;45(1):21–30. <https://doi.org/10.1038/s41386-019-0432-6>.
- Petersen SE, Posner MI. The attention system of the human brain: 20 years after. *Annu Rev Neurosci*. 2012;35:73–89. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-062111-150525>.
- Goel N, Rao H, Durmer JS, Dinges DF. Neurocognitive consequences of sleep deprivation. *Semin Neurol*. 2009;29(4):320–339. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1237117>.
- Cheng S, Yang J, Su M, Sun J, Xiong K, Ma J, et al. Postural stability change under sleep deprivation and mental fatigue status. *Aerosp Med Hum Perform*. 2021;92(8):627–632. <https://doi.org/10.3357/AMHP.5755.2021>.
- Śliwińska-Kowalska M. *Audiologia kliniczna*. Mediton 2005.
- Leek EC, Roberts MV, Dundon NM, Pegna AJ. Early sensitivity of evoked potentials to surface and volumetric structure during the visual perception of three-dimensional object shape. *Eur J Neurosci*. 2020;52(11):4453–4467. <https://doi.org/10.1111/ejn.14270>.
- Jurys M. Wzrokowe potencjały wywołane – wskazania, przeciwwskazania, możliwości diagnostyczne. *Okul Dopl*. 2020;5:4s.
- Odom JV, Bach M, Brigell M, Holder GE, McCulloch DL, Mizota A, et al. ISCEV standard for clinical visual evoked potentials. *Doc Ophthalmol*. 2016;133(1):1–9. <https://doi.org/10.1007/s10633-016-9553-y>.
- Tobimatsu S, Celesia GG. Studies of human visual pathophysiology with visual evoked potentials. *Clin Neurophysiol*. 2006;117(7):1414–1433. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2006.01.004>.
- Pokryszko-Dragan A, Bilinska M, Gruszka E, Kusinska E, Podemski R. Assessment of visual and auditory evoked potentials in multiple sclerosis patients with and without fatigue. *Neurol Sci*. 2015;36(2):235–342. <https://doi.org/10.1007/s10072-014-1953-8>.
- Słotwiński K, Zagrajek M. Endogenne potencjały wywołane w zaburzeniach poznawczych. *Pol Przegl Neurol*. 2012;8,3:114–119.

-
27. Sharma R, Joshi S, Singh KD, Kumar A. Visual Evoked Potentials: normative values and gender differences. *J Clin Diagn Res.* 2015;9(7):CC12-5. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2015/12764.6181>.
28. Gregori B, Pro S, Bombelli F, La Riccia M, Accornero N. VEP latency: sex and head size. *Clin Neurophysiol.* 2006; 117(5):1154–1157. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2006.01.014>.
29. Singh V, Agrawal U, Chaudhary AK, Ranjan M. Study of variation and latency of wave V of brain stem evoked response audiometry in North Central India. *J Otolaryngol Head Neck Surg.* 2019;71(Suppl 2):1408–1411. <https://doi.org/10.1007/s12070-018-1484-3>.
30. Liew SC, Aung T. Sleep deprivation and its association with diseases – a review. *Sleep Med.* 2021;77:192–204. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2020.07.048>.