

**Akademia Wychowania Fizycznego im. Eugeniusza Piaseckiego  
w Poznaniu**

---

mgr inż. Marta Ołpińska-Lischka

Rozprawa doktorska

**Wpływ 24 godzinnego braku snu na wybrane elementy sprawności  
psychofizycznej w zależności od płci**



W formie cyklu artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych

Promotor:

prof. dr hab. Janusz Maciaszek

---

Poznań 2021

Marta Ołpińska-Lischka, MSc, Eng.

Doctoral dissertation

**Effect of 24 hours sleep deprivation on selected elements of psychophysical efficiency according to gender**



In the form of series of articles published in scientific journals

Supervisor:

Janusz Maciaszek, PhD, Assoc. Prof.

## SPIS TREŚCI

I. AUTOREFERAT .....	5
II. DISSERTATION SUMMARY .....	20
III. PIŚMIENICTWO / REFERENCES .....	34
IV. STRESZCZENIE / ABSTRACT .....	43
V. ZAŁĄCZNIKI / APPENDICES .....	45

Oświadczenia współautorów / co-authors' declarations

– publikacja nr 1 / publication No. 1

– publikacja nr 2 / publication No. 2

## WYKAZ SKRÓTÓW / EXPLANATION OF USED SYMBOLS

**BMI** (*body mass index*) - wskaźnik masy ciała

**CG** (*control group*) – grupa kontrolna

**COG** – Kognitron: uwaga (Wiedeński System Testów)

**COM** (*center of mass*) - środek masy

**COP** (*centre of pressure*) - środek nacisku stóp

**COP<sub>area</sub>** - wielkość pola powierzchni określanego przez COP

**COP<sub>path length</sub>** – długość przemieszczeń COP

**DT** - Test Decyzji (Wiedeński System Testów)

**EC** (*experimental group*) – grupa eksperymentalna

**EC** (*eyes closed*) - pomiar z zamkniętymi oczami w swobodnej pozycji

**EO** (*eyes open*) - pomiar z otwartymi oczami w swobodnej pozycji

**et al.** (*et alii*) – i inni

**M** – mediana

**$M_e$**  – średnia

**n** – liczebność

**PA** (*physical activity*) - aktywność fizyczna

**PUI** (*pupillary unrest index*) - miara niestabilności źrenic w ciemności

**SD** - odchylenie standardowe

**WAFF** – Percepcja i Uwaga: skupienie uwagi (Wiedeński System Testów)

## I. AUTOREFERAT

Niniejszą rozprawę doktorską oparto o cykl publikacji pod wspólnym tytułem: „Wpływ 24 godzinnego braku snu na wybrane elementy sprawności psychofizycznej w zależności od płci”, na który składają się dwie publikacje:

1. Ołpińska-Lischka M, Kujawa K, Wirth JA, Antosiak-Cyrak KZ, Maciaszek J. The Influence of 24-hr Sleep Deprivation on Psychomotor Vigilance in Young Women and Men. *Nature and Science of Sleep*. 2020; 12:125-134. IF: 3.054; MNiSW: 70 pkt.

2. Ołpińska-Lischka M, Kujawa K, Maciaszek J. Differences in the Effect of Sleep Deprivation on the Postural Stability among Men and Women. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 18(7):3796. IF: 2.849; MNiSW: 70 pkt.

Łącznie IF: 5.903; MNiSW: 140 pkt.

Prace opublikowane poza cyklem:

1. Kujawa K, Ołpińska-Lischka M, Maciaszek J. The Influence of 24-Hour Sleep Deprivation on the Strength of Lower Limb Muscles in Young and Physically Fit Women and Men. *Sustainability*. 2020; 12(7):2762. IF: 2.966; MNiSW: 70 pkt.

Łącznie IF: 8.869, punktacja MNiSW: 210 pkt.

## 1. Wstęp

Jednym z najbardziej satysfakcjonujących doświadczeń człowieka jest sen (Chittorra i in. 2015). Sen można zdefiniować na wiele sposobów. Przede wszystkim jest to proces mózgowy (Hirshkowitz 2004), w którym mózg jest mniej wrażliwy na bodźce zewnętrzne (Schupp i Hanning 2003). Mimo zmniejszonej wrażliwości, neurony w większej części mózgu nadal są aktywne, będąc odpowiedzialne na przykład za funkcje autonomiczne, takie jak oddychanie (Peirano i Algarin 2007). Ponadto podczas snu dochodzi do ważnych procesów regeneracyjnych organizmu, które są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania w ciągu dnia (Edwards i in. 2010). Sen odgrywa kluczową rolę w fizjologii ogólnoustrojowej, w tym w funkcjonowaniu układu odpornościowego (Besedovsky i in. 2012), hormonalnego (Leprout i Van Cauter 2010) i sercowo-naczyniowego (Hall i in. 2018).

Ilość snu jest zmienna w ciągu całego życia i stopniowo maleje. Zapotrzebowanie na ilość snu jest indywidualne i zależy od homeostatycznej regulacji snu (*homeostatic sleep drive*) i rytmu okołodobowego (Hershner i Chervin 2014). Niemniej jednak przyjmuje się, że rekomendowana ilość snu dla osób dorosłych powinna wynosić przynajmniej 7 godzin, by móc utrzymać dobry stan zdrowia (Watson i in. 2015). Pomimo tak dużego znaczenia snu dla zdrowia człowieka, jego brak jest coraz bardziej powszechny w społeczeństwie (Wolkow i in. 2015). Szacuje się, że w związku z obecnym stylem życia i towarzyszącym stresem, długość snu w ostatnim stuleciu obniżyła się o półtorej godziny (Meerlo i in. 2008), podczas gdy godziny rannego przebudzenia nie uległy zmianie (Carskadon 2001). Według National Institute of Health obniżona ilość snu lub sen, który następuje o niewłaściwej porze dnia albo całkowite pozbawienie snu jest określane deprivacją snu (NHLBI i NIH 2014). Deprivacja snu może być częściowa, co przejawia się skróceniem czasu snu w ciągu 24 godzin lub ostra, która jest brakiem snu co najmniej jednej nocy (Kohansieh i Makaryus 2015).

Zaburzenia snu są częstym problemem wśród studentów na całym świecie (Pascoe i in. 2020), a przyczyn braku snu jest wiele. Często brak snu przypisuje się czynnikom zewnętrznym, takim jak: ekspozycja na sztuczne światło (Cajochen i in. 2011), konsumpcja kofeiny i alkoholu w godzinach późnowieczornych (Goodhines i in. 2019; Ogeil i Phillips 2015; Valerio i in. 2016), złe praktyki związane z higieną snu (Brick i in. 2010), korzystanie z urządzeń elektronicznych przed zaśnięciem (Wang i in. 2019). Do jednych z najczęstszych przyczyn wpływających na obniżoną ilość snu w tej populacji są czynniki związane z nauką (Campbell i in. 2018). Wymagania akademickie przyczyniają się do powstawania czynników

stresogennych, które wpływają na organizm i mogą prowadzić do bezsenności. Obecnie duża część studentów śpi poniżej 7 godzin, co zostało udokumentowane w wielu badaniach (Zeek i in. 2015; Liu i in. 2021; Lawson i in. 2019). Bachman i in. (2006) odnotowali wśród studentów średnio 2,7 bezsennych nocy w ciągu miesiąca, co było spowodowane nauką. Poza tym dostrzeżono, że kobiety mają często mniejszą ilość snu niż mężczyźni (Doi i in. 2001; Tsai i Li 2004).

Negatywne skutki spowodowane deprivacją snu występują na wielu płaszczyznach wywołując kaskadę problemów zdrowotnych, w tym m. in.: zaburzenia somatyczne, zaburzenia związane ze zdrowiem psychicznym, obniżoną jakość życia, zwiększoną masę ciała, nadciśnienie, zwiększone ryzyko powstania nowotworów (Medic i in. 2017). Ponadto deprivacja snu powoduje ograniczenie szerokiego zakresu funkcji poznawczych (Goel i in. 2009). Uwaga i czujność są najsilniej dotkniętymi domenami poznawczymi spowodowanymi deprivacją snu (Lim i in. 2010).

Czujność odnosi się do zdolności utrzymywania uwagi i odpowiedniego reagowania na bodźce (Gunzelmann i in. 2010). Zachowanie czujności może być zależne od płci. Jest niewiele badań, w których badano czujność po deprivacji snu, a wyniki są niejednoznaczne. Ograniczone dane ujawniły, że niekorzystny wpływ deprivacji snu na czujność jest bardziej zauważalny u kobiet niż u mężczyzn (Vidafar i in. 2018). Z kolei inne badania sugerują, że mężczyźni mogą wykazywać większą czujność (Blatter i in. 2006). Choć dane ujawniły, że deficyty związane z brakiem snu wpływają na funkcje poznawcze, to jak dotąd niewiele wiadomo na temat wpływu utraty snu na tę sferę u młodych, aktywnych fizycznie kobiet i mężczyzn.

Niski poziom czujności skutkuje powolnymi reakcjami i brakiem odpowiedzi na bodźce docelowe (Ballester i in. 2015). Całkowity brak snu jednej nocy powoduje negatywne zmiany w czasie reakcji (Taheri i Arabameri 2011). Także w tym aspekcie liczba badań dotycząca wpływu płci po deprivacji snu jest mała. Po 40-godzinnej deprivacji snu stwierdzono, że czas reakcji różni się pomiędzy mężczyznami a kobietami. Wolniejszy czas reakcji udokumentowano u kobiet niż mężczyzn. Autorzy zasugerowali, że różnice międzypłciowe mogą wynikać z przyjętych strategii w celu uzyskania jak najlepszych wyników (Blatter i in. 2006). Zwykle kobiety charakteryzują się większą dokładnością a mężczyźni mają więcej poprawnych reakcji, przez co wydłuża się czas reakcji u kobiet (Barral i Debu 2004). Engle-Friedman i in. (2003) także odnotowali dłuższy czas reakcji w teście komputerowym u kobiet po pozbawieniu snu. Brak snu poważnie ogranicza zdolność ludzi do szybkiego reagowania na

bodźce, co jest wynikiem deficytów czujnej uwagi, która stanowi podstawę złożonych składników poznania (Lim i Dingess 2008).

W wyniku niewystarczającej ilości snu pogarsza się kolejny ważny aspekt koordynacji ruchowej jakim jest stabilność posturalna (Avni i in. 2006). Zdolność do utrzymania równowagi ciała ma ogromne znaczenie dla wykonywania codziennych czynności, a także dla utrzymania podstawowych umiejętności motorycznych osoby aktywnej fizycznie. Na podstawie dostępnych wyników badań doszukanego się opracowań, w których stwierdzono, że 19-godzinna deprivacja snu negatywnie wpływa na kontrolę postawy u mężczyzn, a kołysanie postawy było większe w grupie z zamkniętymi oczami niż w grupie z otwartymi oczami (Nakano i wp. 2001). Jednakże w piśmiennictwie trudno jest znaleźć badania dotyczące różnic płciowych w stabilności posturalnej w grupie młodych osób po deprivacji snu. Wyniki stabilności posturalnej oceniano pod kątem płci po normalnej nocy snu, gdzie wskazano na lepsze wartości parametrów posturograficznych kobiet (Wiegmann i in. 2019). Także w innych badaniach w warunkach względnej ciszy z zamkniętymi i otwartymi oczami wśród studentów wychowania fizycznego stabilność posturalna była wyraźnie lepsza u kobiet w porównaniu z mężczyznami (Polechoński i Błaszczak 2006). Dostępne są również badania, w których udowodniono większą stabilność posturalną wśród młodych mężczyzn (Riva i in. 2013).

### *Uzasadnienie podjętej problematyki*

Znaczenie funkcji poznawczych i zdolności motorycznych jest szczególnie ważne w populacji studentów wychowania fizycznego. Studenci na co dzień biorą udział w zajęciach akademickich, które wymagają dużego skupienia. Poza tym studenci wychowania fizycznego zwykle uprawiają różne dyscypliny sportu wymagające dużej koordynacji ruchowej, w której istotną rolę odgrywają również funkcje poznawcze. Obniżenie tych zdolności może stanowić zwiększone ryzyko kontuzji podczas podejmowanej aktywności fizycznej.

Pomimo dobrze znanego znaczenia snu na funkcjonowanie człowieka i dużego rozpowszechnienia obniżonej ilości snu w tej populacji, nadal trudno jest dokładnie określić wielkość zmian psychofizycznych u młodych, aktywnych fizycznie kobiet i mężczyzn po 24-godzinnej deprivacji snu. Literatura dostarcza słabych dowodów na zróżnicowanie efektów po deprivacji snu na zdolności motoryczne i nie rozwiązuje problemu dymorfizmu płciowego. Prace, które powstały w tym obszarze dotyczą zmian, które były badane po deprivacji snu w



grupie samych kobiet lub mężczyzn (Choudhary i in. 2016; Behrens i in. 2019). We wcześniejszych opracowaniach te dwie grupy często uogólniano przy dalszym opisywaniu wyników (Cain i in. 2011; Martin i in. 2018; Montesinos i in. 2018; Diekfuss i in. 2018). Ze względu na braki takich prac, przeprowadzono eksperyment oceniając wpływ 24-godzinnej deprywacji snu na zdolności psychofizyczne u młodych kobiet i mężczyzn.

## 2. Cele i hipotezy

Głównym celem badań była analiza różnic po 24-godzinnej deprywacji snu na czas reakcji u młodych kobiet i mężczyzn (*publikacja 1*) oraz ocena wpływu braku snu na stabilność posturalną w zależności od płci po 24-godzinnej deprywacji snu (*publikacja 2*).

Na podstawie dokonanego przeglądu piśmiennictwa sformułowano następujące hipotezy:

- (1) Poziom senności wzrośnie u wszystkich badanych po 24-godzinnej deprywacji snu (*publikacja 1*),
- (2) Brak 24-godzinnej deprywacji snu powoduje większą liczbę nieprawidłowych reakcji w wybranych testach koordynacyjnych (Vienna Test System) u kobiet niż u mężczyzn (*publikacja 1*),
- (3) 24-godzinny brak snu powoduje wydłużenie się czasu reakcji w większym stopniu u kobiet niż u mężczyzn (*publikacja 1*),
- (4) Długość ścieżki COP wydłuży się po deprywacji snu niezależnie od udziału wzroku w procesie utrzymywania stabilności posturalnej (*publikacja 2*),
- (5) Deprywacja snu wpłynie negatywnie na poziom stabilności posturalnej zwiększając długość ścieżki COP w większym stopniu u mężczyzn niż kobiet (*publikacja 2*).

### **3. Metody**

#### **Pomiar**

##### ***Publikacja 1***

###### *Wiedeński System Testów*

Do oceny sprawności psychofizycznej wykorzystano komputerowe testy Wiedeńskiego Systemu, które są stosowane w pomiarach psychomotorycznych, spełniając kryteria jakości testów (trafność, rzetelność i obiektywność) ([www.schuhfried.at](http://www.schuhfried.at)). Z dostępnych testów zostały wybrane te, które są ważne do analizy cech istotnych dla osób podejmujących regularną aktywność fizyczną.

W badaniach użyto trzy wystandaryzowane testy:

- COG (Kognitron: uwaga) mierzy poziom uwagi i koncentracji. Test polega na porównywaniu abstrakcyjnych figur przy wskazaniu czy wyświetlona w dolnym rzędzie figura jest identyczna z figurą znajdującą się w górnym rzędzie, naciskając zielony lub czerwony przycisk na panelu odpowiedzi.
- DT (Test Decyzji) służy do oceny tolerancji na stres, szybkości reakcji i selektywnej uwagi. Procedura wymaga rozróżnienia między różnymi kolorami (czerwonym, zielonym, niebieskim, żółtym i białym) oraz dwoma tonami (wysokim i niskim) w ramach działania poznawczego. Zadaniem osoby badanej jest reakcja na kolejno zmieniające się po sobie bodźce wizualne i akustyczne poprzez naciśnięcie odpowiedniego przycisku na panelu odpowiedzi Wiedeńskiego Systemu Testów.
- WAFF (Percepcja i Uwaga: skupienie uwagi) służy do oceny skupienia uwagi. Pomiar polega na koncentracji na dwóch różnych figurach. Badana osoba reaguje, gdy zdefiniowany bodziec staje się bardziej intensywny. W innym przypadku inne bodźce należy zignorować.

Po ukończeniu testów Wiedeńskiego Systemu uczestnicy nie otrzymywali informacji zwrotnych dotyczącej interpretacji wyników za pośrednictwem komputera ani badacza. Ekran komputera każdorazowo sygnalizował zakończenie zadania.

### *Obiektywna ocena senności*

Do oceny poziomu senności zastosowano pupilograf (F<sup>2</sup>D *Fit-For-Duty*), który składa się z kamery wideo z podczerwonym światłem (diodami emitującymi światło), filmując źrenicę badanej osoby w ciemności przez 11 minut (Lüdtke i in. 1998). Pomiar umożliwia obiektywną ocenę senności badanej osoby, klasyfikując ją jako: „normalną”, „podwyższoną” lub „patologiczną”.

### *Subiektywna ocena senności*

Skala *Epworth Sleepiness Scale* (ESS) (Johns 1991) określa senność osoby badanej w przeciągu czterech ostatnich tygodni. Stwierdzenia odnoszą się do normalnego życia codziennego w ostatnim czasie. Końcowy wynik umożliwia określenie stopnia senności w ciągu dnia jako: „niską normalną”, „wyższą normalną”, „łagodną nadmierną”, „umiarkowaną nadmierną”, „poważną nadmierną”.

## **Publikacja 2**

### *Autorski kwestionariusz*

Autorski kwestionariusz składał się z 12 pytań, które dotyczyły: subiektywnej oceny własnego snu, długości snu w ciągu ostatnich czterech tygodni, stosowania drzemek, stosowania leków nasennych, podejmowania aktywności fizycznej oraz konsumpcji kawy i alkoholu w godzinach popołudniowych/wieczornych.

### *Stabilność posturalna*

Testy posturograficzne wykonane były na platformie AccuGait AMPI PJB-101. Czas trwania pojedynczej próby wynosił 30 sekund. Podczas pomiaru badana osoba stała swobodnie z kończynami górnymi opuszczonymi wzdłuż ciała. Testy przeprowadzone były bez obuwia. Badanie wykonano jednokrotnie w każdym z terminów (I sesja, II sesja).

Wykonano kolejno następujące pomiary:

- pomiar z oczami otwartymi w swobodnej pozycji (EO)
- pomiar z zamkniętymi oczami w swobodnej pozycji (EC)

Do analizy wybrano najczęściej stosowany parametr długość ścieżki COP (*path length*). Przyjmuje się, że dla osób zdrowych i młodych ten parametr jest wystarczający do oceny stabilności postawy (Nagymáté i in. 2018). Wskaźnik określa przebytą drogę przez COP (mm). Kolejnym wartościowym parametrem dla oszacowania stabilności posturalnej był obszar wychwiań COP (*sway area*) (Hertel i in. 2002).

Dodatkowo z przeprowadzonych prób wyliczono wskaźnik Romberga, który jest stosunkiem wielkości parametrów otrzymanych w testach z otwartymi i z zamkniętymi oczami.

## **Protokół badawczy**

### ***Publikacja 1 i 2***

Badania prowadzone były w Akademii Wychowania Fizycznego w Poznaniu. Eksperyment składał się z trzech terminów dla każdej grupy. Każdy student brał udział we wstępnych pomiarach (test zerowy), które odbyły się kilka dni wcześniej i miały na celu zapoznanie się z testami.

Wszyscy badani byli testowani dwa razy w każdej grupie (I sesja, II sesja). W pierwszej sesji obie grupy (CG, EG) badano po normalnym cyklu snu. W drugiej sesji grupa kontrolna została zbadana po normalnym śnie nocnym, a grupa eksperymentalna została poddana 24-godzinnej deprivacji snu.

24 godziny przed badaniem (II sesja) każdy student z grupy eksperymentalnej otrzymał akcelerometr Caltrac (Muscle Dynamics, Inc., Tarrance, Kalifornia, USA). Celem tego pomiaru była kontrola dobowej aktywności fizycznej.

Podczas procedury testowej, uczestnicy badania byli pod nadzorem zespołu badawczego przez całą noc. Podczas testu zaplanowano dla uczestników aktywizujące formy takie jak gry planszowe, karty do gry, puzzle. Przed głównym badaniem po deprivacji snu uczniowie mogli zjeść śniadanie i napić się wody. Pomiary zostały wykonane w godzinach porannych między 6:00 a 8:30 godziną.

## **Analiza statystyczna**

### ***Publikacja 1***

W obliczeniach służących ocenie skutków wpływu braku snu na parametry testów Wiedeńskiego Systemu zastosowano dwuczynnikową analizę wariancji ANOVA wyznaczając efekty główne interakcji. Normalność rozkładu zweryfikowano za pomocą testu Shapiro-Wilka. W celu oceny związku pomiędzy poszczególnymi zmiennymi kategorialnymi zastosowano test Chi 2 Pearsona. Ogólną charakterystykę wyników przedstawiono jako medianę  $\pm$  odchylenie standardowe ( $M \pm SD$ ) oraz średnią ( $Me$ ). Poziom istotności statystycznej ustalono na  $p \leq 0,05$ .

### ***Publikacja 2***

W celu wykorzystania bardziej wrażliwych metod do porównania grup (kontrolna, eksperymentalna), płci (mężczyźni, kobiety) i sesji (normalny sen, deprivacja snu) zastosowano trójczynnikową analizę wariancji. Wyznaczono efekty główne interakcji. Normalność rozkładu zweryfikowano za pomocą testu Shapiro-Wilka. Ogólną charakterystykę wyników przedstawiono jako medianę  $\pm$  odchylenie standardowe oraz średnią ( $Me \pm SD$ ). Istotność statystyczną ustalono na poziomie  $p < 0,05$ .

## **4. Wyniki oraz ich omówienie**

### ***Publikacja 1***

The Influence of 24-hr Sleep Deprivation on Psychomotor Vigilance in Young Women and Men. *Nature and Science of Sleep*. 2020;12:125-134.

### ***Pupilografia i ESS***

Badanie pupilografem jest szybką i obiektywną metodą, którą można przeprowadzić w niemalże każdym warunkach. Badanie wykazało, że studenci z grupy eksperymentalnej uzyskali lepsze wyniki po deprivacji snu niż po normalnie przespanej nocy (I sesja). Wyższymi wartościami PUI po deprivacji snu cechowali się mężczyźni. Oznacza to, że mężczyźni mieli wyższy poziom senności po 24-godzinnej deprivacji snu niż kobiety.

Przy pomocy skali ESS oceniono także subiektywną senność w przeciągu czterech ostatnich tygodni, która była wyższa u kobiet niż u mężczyzn. Poziom senności badanych sklasyfikowano jako „wyższy normalny”.

Dzięki badaniu pupilograficznemu, który jest wiarygodnym pomiarem (Morad i in. 2000) dostrzeżono, że rzeczywista senność badanych była wyższa niż ta odnotowana na podstawie pomiaru skalą ESS. Poziom senności w grupie eksperymentalnej po deprywacji snu był niższy niż po normalnie przespanej nocy, ale nadal kształtował się na bardzo wysokim poziomie. Niezmienione lub niższe wyniki senności po wykonaniu badania pupilografem mogą wystąpić u grup zawodowych, które wykonują prace zmianowe i często adaptują się do charakteru pracy (Kupietz 2015). Trudnym do wyjaśnienia są uzyskane wyniki senności po deprywacji snu u studentów. Można przypuszczać, że senność studentów obniżyła się ze względu na sam udział w eksperymencie i pomiary, które były dla większości badanych bardzo atrakcyjne. Sam udział w testach mógł zadziałać pobudzająco, co prawdopodobnie spowodowało wzrost poziomu adrenaliny, a podwyższony poziom tego hormonu podnosi na pewien czas czujność (Howard 2017). Choć wskaźnik PUI w grupie eksperymentalnej po deprywacji snu był niższy, to według przyjętych norm tendencja do zaśnięcia nadal była bardzo wysoka. Te wyniki pokazują, że wiele osób nie zdaje sobie sprawy z realnego poziomu swojej senności, oceniając ją lepiej.

#### *Wiedeński System Testów: WAFF, DT, COG*

Wyniki czasu reakcji w teście WAFF pogorszyły się zarówno u kobiet, jak i u mężczyzn po 24-godzinnej deprywacji snu. Wyraźne różnice po deprywacji snu wystąpiły pomiędzy kobietami a mężczyznami. Ponadto kobiety w grupie eksperymentalnej charakteryzowały się większą liczbą błędów niż mężczyźni w pomiarze po bezsennej nocy. W teście DT zakres zmian po deprywacji snu pomiędzy kobietami a mężczyznami niezależnie od grupy i terminów badania był mniej zauważalny. Oznacza to, że jedna noc braku snu wpłynęła na wydłużenie czasu reakcji w teście DT, ale to mężczyźni mieli nieco dłuższy czas reakcji w porównaniu do kobiet ( $p > 0.05$ ). Według Solanki i in. (2012) międzypłciowe różnice są bardziej dostrzegalne w testach oddziałujących na bodźce wzrokowe niż słuchowe. Ponadto różnice w czasie reakcji między kobietami a mężczyznami w teście WAFF mogły wynikać z większej wrażliwości parametrów tego testu. Dodatkowo forma testu WAFF jest dłuższa niż w teście DT. Mimo wysokiej rzetelności testu DT (Slepicka i in. 2015), dłuższe próby są zwykle bardziej czułe na wykrycie obniżenia uwagi po deprywacji snu (Behrens i in. 2019; Loh i in. 2004). Potrzebne są zatem dalsze badania, które testy psychoruchowe mogą być najbardziej wrażliwe do

wykrywania różnic psychofizycznych u młodych, sprawnych kobiet i mężczyzn po deprivacji snu.

Liczba poprawnych reakcji pogorszyła się po deprivacji snu u kobiet i mężczyzn. Suma poprawnych reakcji była niższa u kobiet w porównaniu do mężczyzn w obu terminach. Nie odnotowano istotnie statystycznych różnic międzypłciowych w grupie eksperymentalnej. Z kolei suma nieprawidłowych odpowiedzi zwiększyła się nieznacznie tylko u kobiet w stosunku do pierwszego pomiaru. W tego typu testach często stwierdza się, że to właśnie kobiety mają więcej poprawnych odpowiedzi, ale za to wolniejszy czas reakcji (Barral i Debu 2004). W tym badaniu nie można potwierdzić tego założenia, gdyż kobiety z grupy eksperymentalnej miały mniej poprawnych reakcji niż mężczyźni niezależnie od terminu. Prawdopodobnie ograniczenie snu jednej nocy było niewystarczające dla zdrowych i młodych osób, tak by mogło obniżyć ich uwagę i koncentrację w tym zadaniu.

## ***Publikacja 2***

Differences in the Effect of Sleep Deprivation on the Postural Stability among Men and Women. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 18(7):3796.

### *Stabilność postawy przy otwartych oczach*

Pierwszy pomiar został przeprowadzony w swobodnej pozycji stojącej z rękoma wzdłuż tułowia z otwartymi oczami. Wartości obszaru wychwiał COP w warunkach z oczami otwartymi były niższe niż w warunkach z oczami zamkniętymi zarówno w grupach kobiet, jak i mężczyzn, niezależnie od sesji testowej. W grupie eksperymentalnej mężczyzn odnotowano wyższe wartości obszaru wychwiał COP (I i II sesja) niż u kobiet. Wzrost długości ścieżki COP w teście z otwartymi oczami po deprivacji snu odnotowano tylko u mężczyzn w grupie eksperymentalnej, co wskazuje na mniej stabilną kontrolę postawy mężczyzn po deprivacji snu. Mechanizm zmian jest niejasny, ale stabilność posturalna jest silnie związana z siłą mięśni kończyn dolnych (Han i Yang 2015). W badaniu Kujawy i in. (2020) wykazano, że 24-godzinna deprivacja snu wpłynęła na obniżenie siły mięśni kończyn dolnych u młodych studentów, a przypuszczalnie mogło to być spowodowane zmianą w temperaturze ciała po 24-godzinnej deprivacji snu (Landis i in. 1998). To z kolei mogło wpłynąć na obniżenie funkcji mięśni (Nakano i in. 2001).

### *Stabilność postawy przy zamkniętych oczach*

Wyższe wartości długości ścieżki COP zaobserwowano po wyeliminowaniu kontroli wzrokowej w porównaniu do badania przy oczach otwartych zarówno w grupie eksperymentalnej, jak i kontrolnej. Bazując na przeglądzie literatury (Liu i in. 2001; Gomez i in. 2008; Patel i in. 2008) spodziewano się pogorszenia stabilności posturalnej po 24-godzinnym braku snu u badanych studentów w tej próbie. Jednak w próbie z zamkniętymi oczami długość ścieżki COP odnotowana po deprivacji snu nie pogorszyła się w grupie eksperymentalnej kobiet i mężczyzn. Trudno jest wyjaśnić przyczynę braku pogorszenia stabilności ciała po deprivacji snu w grupie eksperymentalnej w tym zadaniu. Wiadomo, że kontrola postawy jest silnie powiązana z procesami uwagi (Liu i in. 2001), a obciążenie poznawcze (*cognitive load*) odgrywa ważną rolę w kontroli postawy ciała w warunkach braku snu (Robillard i in. 2011). Deprivacja snu upośledza funkcje poznawcze i prowadzi do zmniejszenia regionalnej aktywności mózgu. Wzgorze (*thalamus*) i kora przedczołowa (*pre-frontal cortex*) regulują funkcje poznawcze takie jak czujność i uwaga. W wyniku deprivacji snu następuje spadek aktywności wzgórza i kory przedczołowej (Krause i in. 2017). Dezaktywacja tych obszarów prowadzi do obniżenia funkcji uwagi (Chee i in. 2008) i procesów poznawczych wyższego rzędu (Thomas i in. 2000). Ze względu na zwiększoną senność, zadania wymagające większej uwagi stają się trudniejsze do wykonania i wymagają większego wysiłku do ich poprawnego wykonania (Thomas i in. 2000). Właściwe skupienie uwagi może nawet poprawić kontrolę postawy ciała po deprivacji snu (Diekfuss i in. 2018). Można przypuszczać, że studenci pomimo braku kontroli wzroku potrafili skoncentrować się w taki sposób, aby brak snu nie wpływał negatywnie na stabilność ich postawy. Wydaje się, że konieczne jest przetestowanie tego efektu poprzez zastosowanie dłuższych prób i dłuższej deprivacji snu wśród młodych ludzi.

### *Wskaźnik Romberga*

W naszym eksperymencie analiza zmian wartości wskaźnika długości ścieżki Romberga wykazała większą wrażliwość na bodźce wzrokowe w grupie mężczyzn niż w grupie kobiet, gdzie stwierdzono tendencję do istotności statystycznej ( $p=0.09$ ). Oznacza to, że mężczyźni są bardziej wrażliwi na brak informacji wizualnych, co wpływa na ich mniej stabilną postawę ciała. Istotnie statystycznej interakcji między badanymi kobietami i mężczyznami po 24-deprivacji snu nie stwierdzono w wartości współczynnika Romberga w obszarze wychwiania



u mężczyzn po 24-godzinnej deprivacji snu, ale odnotowano statystycznie istotny efekt płci ( $p < 0.05$ ). Charakter tych dwóch wskaźników jest różny. Parametr długości ścieżki determinuje zmiany powstające w układzie proprioceptywnym i motorycznym (Mauritz i Dietz 1980), a parametr obszaru wychwiania COP wynika z funkcji przedsionkowej (Kapteyn i Wit 1972). Mniejszy obszar kołyszącej się postawy w pozycji statycznej może wskazywać na zwiększone napięcie mięśniowe powodujące unieruchomienie postawy (Hamaoui i in. 2011).

Ze względu na niewielkie zmiany w stabilności posturalnej wśród kobiet i mężczyzn po 24-deprivacji snu założono, że dużą rolę może odgrywać aktywność fizyczna. Badania Coco i in. (2019) pokazały, że 72-godzinna deprivacja snu nie wpłynęła negatywnie na samopoczucie psychiczne i fizyczne u sportowca wyczynowego. Ich wyniki zadają się potwierdzać nasze założenie, że u osób aktywnych fizycznie negatywne skutki deprivacji snu mogą być mniejsze lub mogą wcale nie wystąpić w porównaniu ze zdrowymi, nieaktywnymi fizycznie osobami.

Testy posturograficzne pokazują, że utrzymanie stabilnej kontroli postawy na bosą jest łatwiejsze niż w obuwiu (Alghadir i in. 2018; Brenton-Rule i in. 2014; Sadowska i in. 2019). Ze względu na ogólnie gorszą stabilność posturalną mężczyzn niż kobiet w obu terminach badania można przypuszczać, że jednym z czynników może być charakter podejmowanych aktywności fizycznych przez mężczyzn. Obuwie sportowe w niektórych dyscyplinach sportu może ograniczać prawidłową aktywność mięśni posturalnych. Andreeva i in. (2020) wykazali, że sportowcy, którzy trenują w butach ze sztywnym podparciem stawu skokowego mają wyższe wyniki w parametrach posturograficznych niż ci, którzy trenują w tenisówkach z elastyczną podeszwą. Stabilizatory stawu skokowego są stosowane w butach sportowych w celu zmniejszenia ryzyka kontuzji kostki podczas aktywności fizycznych. Jednakże długotrwałe używanie obuwia ze sztywnym podparciem prowadzi do spadku stabilności posturalnej, która może być przywrócona po ćwiczeniach równowagi (Bennell i in. 1994). Czynniki te powinny być uwzględnione w kolejnym eksperymencie, ze względu na dużą aktywność fizyczną studentów wynikającą z charakteru studiów. Z pewnością nie jest łatwo określić szczegółowo zmiany spowodowane deprivacją snu na sprawność psychofizyczną u młodych, aktywnie fizycznych osób. Jednakże w przyszłych badaniach warto wziąć pod uwagę ocenę aspektów psychologicznych (stres) oraz zastosować dłuższą deprivację snu. Wyjaśnienie indywidualnych relacji jest ważne, aby zidentyfikować zmiany w sprawności psychofizycznej wynikające z niewystarczającej ilości snu.

## 5. Wnioski

1. Uzyskane dane sugerują, że 24-godzinna deprywacja snu nie wywołuje w większości testów istotnie statystycznych zmian w sprawności psychomotorycznej u młodych i sprawnych fizycznie studentów. Jednakże w parametrze czasu reakcji w teście WAFF mierzącym skupienie uwagi, kobiety mają znacznie dłuższy czas reakcji w stosunku do mężczyzn (*publikacja 1*). Z kolei w stabilności posturalnej mężczyźni cechują się ogólnie większymi zmianami w odniesieniu do kobiet. Deprywacja snu wpływa na pogorszenie stabilności posturalnej w warunkach z oczami otwartymi tylko u mężczyzn (*publikacja 2*).

2. Poziom senności mierzony przy pomocy pupilografu u badanych kobiet i mężczyzn jest bardzo wysoki, ale nie pogorszył się po 24-godzinnej deprywacji snu, co może wskazywać na ekscytację związaną z udziałem w badaniach (*publikacja 1*).

3. Zakres zmian w czasie reakcji spowodowany 24-godzinną deprywacją snu u kobiet i mężczyzn jest nierówny:

- czas reakcji jest dłuższy u kobiet niż u mężczyzn niezależnie od terminu pomiaru. Deprywacja snu wpływa na pogorszenie czasu reakcji w większym stopniu u kobiet niż u mężczyzn w próbie mierzącej skupienie uwagi w teście WAFF ( $p < 0.05$ ) (*publikacja 1*),

- czas reakcji jest nieznacznie dłuższy u mężczyzn niż u kobiet niezależnie od terminu pomiaru. Deprywacja snu wpływa na pogorszenie czasu reakcji w większym stopniu u mężczyzn niż u kobiet w próbie mierzącej szybkość i poprawność decyzji w teście DT, jednak zmiany nie są istotnie statystycznie ( $p > 0.05$ ) (*publikacja 1*).

4. Poziom uwagi i koncentracji jest niższy u kobiet niż u mężczyzn niezależnie od terminu badania. Deprywacja snu wpływa na pogorszenie poziomu uwagi i koncentracji w próbie mierzącej liczbę poprawnych reakcji w teście COG u kobiet i mężczyzn. Z kolei liczba niepoprawnych reakcji jest większa tylko u kobiet po deprywacji snu ( $p > 0.05$ ) (*publikacja 1*).

5. 24-godzinna deprywacja snu nie wpływa na pogorszenie kontroli postawy we wszystkich próbach u badanych kobiet i mężczyzn (*publikacja 2*):

- stabilność posturalna jest niższa po 24-godzinnej deprivacji snu tylko u mężczyzn w obu parametrach posturograficznych w warunkach kontroli wzrokowej.
- w warunkach braku kontroli wzrokowej, stabilność posturalna jest gorsza u wszystkich badanych, a w szczególności u mężczyzn niż w próbach z oczami otwartymi.

## II. DISSERTATION SUMMARY

The dissertation is based on a series of publications under the common title: “Effect of 24 hours sleep deprivation on selected elements of psychophysical efficiency according to gender,” which consists of two publications:

1. Ołpińska-Lischka M, Kujawa K, Wirth JA, Antosiak-Cyrak KZ, Maciaszek J. The Influence of 24-hr Sleep Deprivation on Psychomotor Vigilance in Young Women and Men. *Nature and Science of Sleep*. 2020; 12:125-134. IF: 3.054; ministerial score: 70 pkt.

2. Ołpińska-Lischka M, Kujawa K, Maciaszek J. Differences in the Effect of Sleep Deprivation on the Postural Stability among Men and Women. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 18(7):3796. IF: 2.849; ministerial score: 70 pkt.

Total IF: 5.903; ministerial score: 140 pkt.

Papers published outside the series:

1. Kujawa K, Ołpińska-Lischka M, Maciaszek J. The Influence of 24-Hour Sleep Deprivation on the Strength of Lower Limb Muscles in Young and Physically Fit Women and Men. *Sustainability*. 2020; 12(7):2762. IF: 2.966; ministerial score: 70 pkt.

Total IF: 8.869; ministerial score: 210 pkt.

## **1. Introduction**

One of the most satisfying human experiences is sleep (Chittorra et al. 2015). Sleep can be defined in many ways. First, it is a brain process (Hirshkowitz 2004) in which the brain is less sensitive to external stimuli (Schupp and Hanning 2003). Despite the reduced sensitivity, neurons in most parts of the brain are still active, being responsible, e.g., for autonomic functions such as breathing (Peirano and Algarin 2007). In addition, important regenerative processes of the body occur during sleep, which are essential for proper functioning during the day (Edwards et al. 2010). Sleep has a crucial role in systemic physiology, including immune (Besedovsky et al. 2012), endocrine (Leproult and Van Cauter 2010), and cardiovascular (Hall et al. 2018) function.

The amount of sleep is variable throughout life and gradually decreases. The need for sleep depends on the individuals' homeostatic sleep drive and circadian rhythm (Hershner and Chervin 2014). Nevertheless, it is accepted that the recommended amount of sleep for adults should be at least 7 hours to maintain good health (Watson et al. 2015). Despite this high importance of sleep to human health, its lack is increasingly common in society (Wolkow et al. 2015). It is estimated that due to current lifestyles and associated stress, the length of sleep has decreased by an hour and a half over the last century (Meerlo et al. 2008), while the hours of morning awakening have not changed (Carskadon 2001). According to the National Institute of Health, reduced amount of sleep or sleep that occurs at the wrong time of day is referred to as sleep deprivation (NHLBI and NIH 2014). Sleep deprivation can be partial, which is characterized by a reduction in sleep time over a 24-hour period, or acute that is the lack of sleep for at least one night (Kohansieh and Makaryus 2015).

Sleep disorders are a common problem among students worldwide (Pascoe et al. 2020), and there are many causes of sleep deprivation. In fact, sleep deprivation is often attributed to external factors such as exposure to artificial light (Cajochen et al. 2011), late night caffeine and alcohol consumption (Goodhines et al. 2019; Ogeil and Phillips 2015; Valerio et al. 2016), poor sleep hygiene practices (Brick et al. 2010), and use of electronic devices before falling asleep (Wang et al. 2019). Among some of the most common causes affecting reduced amount of sleep in this population are study-related factors (Campbell et al. 2018). Academic demands contribute to stressors that affect the body and can lead to insomnia. Currently, a large proportion of students sleep less than 7 hours, which has been documented in multiple studies (Zeek et al. 2015; Liu et al. 2021; Lawson et al. 2019). Bachman et al. (2006) reported an

average of 2.7 sleepless nights per month among students due to their studies. In addition, it was noticed that women tend to sleep less than men (Doi et al. 2001; Tsai and Li 2004).

The negative effects caused by sleep deprivation occur on multiple levels causing a cascade of health problems including but not limited to: somatic disorders, mental health related disorders, decreased quality of life, increased body weight, hypertension, increased cancer risk (Medic et al. 2017). Moreover, sleep deprivation causes a reduction in a wide range of cognitive functions (Goel et al. 2009). Attention and vigilance are the most severely affected cognitive domains caused by sleep deprivation (Lim et al. 2010).

Vigilance is related to the ability to maintain attention and respond appropriately to stimuli (Gunzelmann et al. 2010). Remaining vigilant may be gender-dependent. There are few studies that have examined vigilance after sleep deprivation, and the results are inconclusive. Limited data revealed that the adverse effects of sleep deprivation on vigilance are more evident in women than in men (Vidafar et al. 2018). However, other studies suggest that men may have a higher level of vigilance (Blatter et al. 2006). Although data have revealed that deficits associated with sleep deprivation affect cognitive function, until now, little is known about the effects of sleep loss on this domain among young, physically active men and women.

Low levels of vigilance result in slow reactions and failure to respond to target stimuli (Ballester et al. 2015). Complete lack of sleep during one night results in negative changes in reaction time (Taheri and Arabameri 2011). Again, the number of studies on the effect of gender after sleep deprivation is small. After a 40-hour sleep deprivation, reaction times were found to differ between men and women. Slower reaction times were documented in women than men. The authors suggested that the gender differences may be due to the strategies adopted to obtain the best possible results (Blatter et al. 2006). Women usually have higher accuracy and men have more correct responses, thus increasing reaction time in women (Barral and Debu 2004). Engle-Friedman et al. (2003) also reported longer reaction times in a computer test among women after sleep deprivation. The lack of sleep severely impairs people's ability to respond quickly to stimuli as a result of deficits in vigilant attention, which underlies the complex components of cognition (Lim and Dinges 2008).

As a result of insufficient sleep, another important aspect of motor coordination which is postural stability deteriorates (Avni et al. 2006). The ability to maintain body balance is extremely important for the performance of daily activities as well as for the maintenance of basic motor skills of a physically active person. Based on the available research results, there were studies reporting that 19 hours of sleep deprivation negatively affected postural control in

men, and postural sway was greater in the closed-eye group than in the open-eye group (Nakano et al. 2001). However, it is difficult to find studies in the literature on gender differences in postural stability among young adults after sleep deprivation. Postural stability results were evaluated by gender after a normal night of sleep, where better values of female posturographic parameters were indicated (Wiegmann et al. 2019). Also in another study under relative quiet conditions with eyes closed and open among physical education students, postural stability was clearly better in women compared to men (Polechoński and Błaszczuk 2006). There are also available studies that have demonstrated greater postural stability among young men (Riva et al. 2013).

### *Justification for undertaking research*

The importance of cognitive function and motor skills is particularly important in the physical education student population. Students participate on a daily basis in academic activities that require a high level of concentration. In addition, physical education students usually participate in a variety of sports that require a high degree of motor coordination, in which cognitive functions also have an important role. Decrease of these abilities may represent an increased risk of injury during the physical activity undertaken.

Despite the well-known importance of sleep on human functioning and the high prevalence of reduced sleep in this population, it is still difficult to accurately quantify the extent of psychophysical changes among young, physically active men and women after 24 hours of sleep deprivation. The literature provides little evidence of differential effects after sleep deprivation on motor abilities and does not address the issue of sexual dimorphism. The papers that have been published in this area refer to changes that were studied after sleep deprivation in a group of women or men alone (Choudhary et al. 2016; Behrens et al. 2019). In earlier studies, these two groups were often generalized when further describing the results (Cain et al. 2011; Martin et al. 2018; Montesinos et al. 2018; Diekfuss et al. 2018). Due to the lack of such publications, an experiment was conducted evaluating the effects of 24h sleep deprivation on psychophysical abilities in young men and women.

## **2. Objectives and hypotheses**

The main aim of this study was to analyze the differences after 24-hour sleep deprivation on reaction time among young men and women (*publication 1*) and to evaluate the effect of

sleep deprivation on postural stability according to gender after 24-hour sleep deprivation (*publication 2*).

Based on the literature review, the following hypotheses were formulated:

- 1) Sleepiness levels will increase in all subjects after 24 hours of sleep deprivation (*publication 1*),
- 2) Lack of 24-hour sleep causes a higher number of abnormal responses in selected coordination tests (Vienna Test System) in women than in men (*publication 1*),
- 3) Twenty-four hours of sleep deprivation increases reaction time to a greater extent in women than in men (*publication 1*),
- 4) The path length of COP will increase after sleep deprivation regardless of the contribution of vision in maintaining postural stability (*publication 2*),
- 5) Sleep deprivation will negatively affect the level of postural stability by increasing path length of COP to a greater extent in men than in women (*publication 2*).

### **3. Methods**

#### **Measurement**

##### ***Publication 1***

###### *Vienna Test System*

Computerized tests of the Vienna System, which are used in psychomotor measurements, were used to assess psychophysical efficiency, meeting the criteria of test quality (relevance, reliability and objectivity) ([www.schuhfried.at](http://www.schuhfried.at)). Out of the available tests were selected those that are valid for the analysis of features relevant to individuals who undertake regular physical activity.

Three standardized tests were used in the study:

- COG (Cognitron: attention) – measures the level of attention and concentration. The test involves comparing abstract figures while indicating whether the figure displayed in the bottom row is identical to the figure in the top row by pressing the green or red button on the response panel.
- DT (Decision Test) – used to assess stress tolerance, reaction rate, and selective attention. The procedure requires distinguishing between different colors (red, green,



blue, yellow, and white) and two tones (high and low) within a cognitive measure. The subject's task is to respond to successively changing visual and auditory stimuli by pressing the appropriate button on the response panel of the Vienna Test System.

- WAFF (Perception and Attention: focusing attention) – used to assess focusing attention. It is measured by focusing on two different figures. The tested person reacts when the defined stimulus becomes more intense. Otherwise, other stimuli are to be ignored.

Upon completion of the Vienna Test System, participants did not receive feedback regarding interpretation of results via the computer or the researcher. The computer screen signaled the completion of task each time.

### *Objective assessment of sleepiness*

The pupillograph (F<sup>2</sup>D *Fit-For-Duty*), which consists of a video camera with infrared light (light emitting diodes), filming the subject's pupil in the dark for 11 minutes, was used to assess the level of sleepiness (Lüdtke et al. 1998). The measurement allows an objective assessment of the subject's sleepiness, classifying it as: “normal,” “elevated” or “pathological.”

### *Subjective assessment of sleepiness*

*The Epworth Sleepiness Scale* (ESS) (Johns 1991) measures the subject's sleepiness over the past four weeks. Statements relate to normal daily life in the most recent period. The final score allows to determine the daytime sleepiness level as: “normal low,” “normal higher,” “mild excessive,” “moderate excessive,” “severe excessive.”

## ***Publication 2***

### *Author's questionnaire*

The author's questionnaire consisted of 12 questions that addressed the following: subjective assessment of own sleep, length of sleep in the past four weeks, napping, use of sleep medication, engaging in physical activity, and consumption of coffee and alcohol in the afternoon/evening.

### *Postural stability*

Posturography tests were performed on the AccuGait AMPI PJB-101 platform with a single trial duration of 30 seconds. During the measurement the tested person stood freely with upper limbs placed along the body. Tests were performed without shoes and once on each date (1<sup>st</sup> session, 2<sup>nd</sup> session).

The following measurements were taken sequentially:

- measurement with eyes open in relaxed position (EO)
- measurement with eyes closed in relaxed position (EC)

The most commonly used parameter COP path length was chosen for the analysis. It is assumed that for healthy and young individuals this parameter is sufficient to assess postural stability (Nagymáté et al. 2018). The index determines the path traveled by the COP (mm). Another valuable parameter for estimating postural stability was the COP sway area (Hertel et al. 2002).

In addition, the Romberg index, which is the ratio of parameter magnitudes obtained in the open- and closed-eye tests, was calculated from the trials.

## **Research protocol**

### ***Publication 1 and 2***

The study was conducted at the Academy of Physical Education in Poznań. The experiment consisted of three time periods for each group. Each student took part in preliminary measurements (zero test), which took place a few days before and were intended to familiarize them with tests.

All subjects were tested twice in each group (1<sup>st</sup> session, 2<sup>nd</sup> session). In the first session, both groups (CG, EG) were tested after a normal sleep cycle. In the second session, the control group was tested after normal night sleep, and the experimental group was subjected to 24 hours of sleep deprivation.

24-hours before the study (2<sup>nd</sup> session), each student in the experimental group received a Caltrac accelerometer (Muscle Dynamics, Inc., Tarrance, California, U.S.). The purpose of this measurement was to monitor daily physical activity.

In order to ensure that the experiment and testing procedures followed the protocol, participants were monitored under the supervision of research staff throughout the night. During the test, activating forms such as board games, game cards, and puzzles were planned for the

participants. Before the main test, after sleep deprivation, the students were allowed to eat breakfast and drink water. Measurements were taken in the morning between 6:00 and 8:30 am.

## **Statistical analysis**

### ***Publication 1***

Two-factor analysis of variance ANOVA was used in calculations to assess the effects of sleep deprivation on the parameters of the Vienna Test System by determining the main effects of interaction. Normal distribution was verified using the Shapiro-Wilk test. Pearson's A chi-squared test was used to assess the relationship between categorical variables. The overall characteristics of results were presented as median  $\pm$  standard deviation ( $M \pm SD$ ) and mean ( $Me$ ). The statistical significance level was adopted at  $p \leq 0.05$ .

### ***Publication 2***

Three-factor analysis of variance was used for more sensitive methods to compare groups (control, experimental), gender (male, female) and sessions (normal sleep, sleep deprivation). Main effects of interaction were determined. Normal distribution was verified using the Shapiro-Wilk test. The overall characteristics of results were presented as median  $\pm$  standard deviation and mean ( $Me \pm SD$ ). The statistical significance level was adopted at  $p < 0.05$ .

## **4. Results and discussion**

### ***Publication 1***

The Influence of 24-hr Sleep Deprivation on Psychomotor Vigilance in Young Women and Men. *Nature and Science of Sleep*. 2020;12:125-134.

### ***Pupillography and ESS***

The pupillograph test is a quick and objective method that can be performed under almost any conditions. The study showed that students in the experimental group obtained better results after sleep deprivation than after a normally slept night (1<sup>st</sup> session). Men had higher

PUI values after sleep deprivation. This means that men had a higher level of sleepiness after 24-hour sleep deprivation than women.

Subjective sleepiness over the past four weeks was also assessed using the ESS scale, which was higher in women than in men. The subjects' level of sleepiness was classified as "higher normal."

Through the pupillography, which is a reliable measurement (Morad et al. 2000), it was noticed that the actual sleepiness of the subjects was higher than that recorded from the ESS scale measurement. The level of sleepiness in the experimental group after sleep deprivation was lower than after a normally slept night, but was still at a very high level. Unchanged or lower sleepiness results after pupillography may occur in occupational groups that perform shift work and frequently adapt to the nature of work (Kupietz 2015). The results obtained in terms of sleepiness after sleep deprivation among the students are difficult to explain. It can be assumed that the students' sleepiness decreased due to the very participation in the experiment and measurements, which were very attractive for most of the subjects. The very participation in tests may have had an arousal effect, which probably increased adrenaline levels, and elevated levels of this hormone raise vigilance for some time (Howard 2017). Although the PUI was lower in the experimental group after sleep deprivation, the tendency to fall asleep was still very high by accepted standards. These results show that many people are unaware of the real level of their sleepiness, assessing it better.

#### *Vienna Test System: WAFF, DT, COG*

Reaction time results on the WAFF test decreased in both women and men after 24 hours of sleep deprivation. Clear differences after sleep deprivation occurred between women and men. In addition, women in the experimental group had more errors than men in the measurement after a sleepless night. In the DT test, the extent of change after sleep deprivation between women and men regardless of group and test periods was less noticeable. This means that one night of sleep deprivation did affect the increase in reaction time in the DT test, but it was men who had slightly longer reaction times compared to women ( $p>0.05$ ). According to Solanki et al. (2012), cross-gender differences are more noticeable in tests that interact with visual stimuli than auditory stimuli. Moreover, differences in reaction time between women and men in the WAFF test could result from the greater sensitivity of the parameters of this test. Additionally, the form of the WAFF test is longer than that of the DT test. Despite the high reliability of the DT test (Slepicka et al. 2015), longer trials are usually more sensitive to the

detection of decreased attention after sleep deprivation (Behrens et al. 2019; Loh et al. 2004). Therefore, further research is needed which psychomotor tests may be the most sensitive for detecting psychophysical differences in young, physically fit women and men after sleep deprivation.

The number of correct responses worsened after sleep deprivation in both men and women. The sum of correct responses was lower in women compared to men on both sessions. There were no significant statistical gender differences in the experimental group. The total of correct responses was lower in females compared to males at both time periods. In contrast, the total of incorrect responses increased slightly only in women compared to the first measurement. In this type of testing, it is often found that women are the ones with more correct responses but slower reaction times (Barral and Debu 2004). This assumption cannot be confirmed in this study, as women in the experimental group had fewer correct responses than men regardless of timing. It is likely that the restriction of one night's sleep was insufficient for healthy and young individuals to reduce their attention and concentration in this task.

### ***Publication 2***

Differences in the Effect of Sleep Deprivation on the Postural Stability among Men and Women. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 18(7):3796.

#### *Postural stability with eyes open*

The first measurement was performed in a relaxed standing position with arms along the torso with eyes open. The values of COP sway area in the open-eye condition were lower than in the closed-eye condition in both the female and male groups, regardless of testing session. In the male experimental group, higher values of COP sway area (1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> sessions) were recorded than in the female group. An increase in COP path length in the open-eye test after sleep deprivation was observed only in men in the experimental group, indicating less stable postural control for men after sleep deprivation. The mechanism of change is unclear, but postural stability is strongly related to lower limb muscle strength (Han and Yang 2015). The study conducted by Kujawa et al. (2020) showed that 24-hour sleep deprivation decreased lower limb muscle strength in young students, and presumably this could be due to a change in

body temperature after 24-hour sleep deprivation (Landis et al. 1998). This in turn may have influenced the reduction in muscle function (Nakano et al. 2001).

### *Postural stability with eyes closed*

Higher COP path length values were observed after eliminating visual control compared to the open-eye test in both the experimental and control groups. Based on the literature review (Liu et al. 2001; Gomez et al. 2008; Patel et al. 2008), it was expected that postural stability would deteriorate after 24 hours of sleep deprivation among tested students in this trial. However, in the closed-eye trial, there was no deterioration in the COP path length recorded after sleep deprivation in either the male or female experimental group. It is difficult to explain the reason for the lack of deterioration of body stability after sleep deprivation in the experimental group for this task. It is known that postural control is strongly related to attentional processes (Liu et al. 2001), and cognitive load has an important role in postural control under sleep deprivation (Robillard et al. 2011). Sleep deprivation impairs cognitive function and leads to reduced regional brain activity. The *thalamus* and *prefrontal cortex* regulate cognitive functions such as vigilance and attention. Sleep deprivation results in a decrease in thalamus and prefrontal cortex activity (Krause et al. 2017). Deactivation of these areas leads to a decrease in attentional function (Chee et al. 2008) and higher-order cognitive processes (Thomas et al. 2000). Due to increased sleepiness, tasks that require more attention become more difficult to perform and require more effort to complete correctly (Thomas et al. 2000). Proper attention may even improve postural control after sleep deprivation (Diekfuss et al. 2018). It can be assumed that the students, despite their lack of visual control, were able to concentrate in such a way that sleep deprivation did not adversely affect their postural stability. It seems necessary to test this effect by using longer trials and longer sleep deprivation among young people.

### *Romberg ratio*

In our experiment, the analysis of value changes of Romberg's path length index showed greater sensitivity to visual stimuli in the male group than in the female group, where a trend towards statistical significance was found ( $p=0.09$ ). This means that men are more sensitive to the lack of visual information, which affects their less stable posture. A statistically significant

interaction between male and female subjects after 24 hours sleep deprivation was not found in the value of Romberg coefficient in the sway area among males after 24 hours sleep deprivation, but a statistically significant effect of gender was noted ( $p < 0.05$ ). The nature of these two indicators is different. The path length parameter determines the changes arising in the proprioceptive and motor systems (Mauritz and Dietz 1980), and the COP sway area results from vestibular function (Kapteyn and Wit 1972). A smaller sway area in static posture may indicate increased muscle tension causing postural immobilization (Hamaoui et al. 2011).

Due to the small changes in postural stability among men and women after a 24-hour sleep deprivation, it has been hypothesized that physical activity may play a large role here. A study conducted by Coco et al. (2019) showed that 72 hours of sleep deprivation did not negatively affect mental and physical well-being in a professional sportsman. Their results seem to support our assumption that in physically active individuals, the negative effects of sleep deprivation may be less or may not occur at all compared to healthy, physically inactive individuals.

Posturographic tests show that maintaining stable postural control while barefoot is easier than in shoes (Alghadir et al. 2018; Brenton-Rule et al. 2014; Sadowska et al. 2019). Due to the generally worse postural stability of men than women, in both terms of the study, it can be assumed that one of the factors may be the nature of physical activity undertaken by men. In some sports, sports shoes may limit the normal activity of postural muscles. Andreeva et al. (2020) showed that sportsmen who train in shoes with rigid ankle support have higher scores in posturographic parameters than those who train in sneakers with flexible soles. Ankle stabilizers are used in athletic shoes to reduce the risk of ankle injury during physical activities. However, long-term use of shoes with rigid support leads to a decrease in postural stability, which can be restored after balance exercises (Bennell et al. 1994). This factor should be considered in the next experiment, due to the high physical activity of students resulting from the nature of their studies. It is certainly not easy to detail the changes caused by sleep deprivation on psychophysical efficiency in young, actively physical individuals. However, in future studies, it is worthwhile to consider the assessment of psychological aspects (stress) and the use of longer sleep deprivation. It is important to clarify individual relationships for identifying changes in psychophysical efficiency due to insufficient sleep.

## 5. Conclusions

1. The obtained data suggest that in most tests, 24-hour sleep deprivation does not cause any statistically significant changes in psychomotor performance in young and physically fit students. However, in the reaction time parameter of the WAFF test measuring focused attention, women have a much longer reaction time compared to men (*publication 1*). However, in postural stability, males are generally characterized by greater changes in postural stability with respect to females. Twenty-four hours of sleep deprivation impairs postural stability with eyes open only in men (*publication 2*).
2. The level of sleepiness measured with pupillograph in male and female subjects is very high but did not worsen after 24 hours of sleep deprivation, which may indicate arousal associated with participation in the study (*publication 1*).
3. Range of changes in reaction time due to 24-hour sleep deprivation among men and women is unequal:
  - reaction time is longer in women than in men, regardless of the testing session. Sleep deprivation affects the deterioration of reaction time to a greater extent in women than in men in the test measuring attention in the WAFF test ( $p < 0.05$ ) (*publication 1*),
  - reaction time is slightly longer in men than in women, regardless of the testing session. Sleep deprivation affects the deterioration of reaction time to a greater extent in men than in women in the sample measuring the speed and correctness of decisions in the DT test, but the changes are not statistically significant ( $p > 0.05$ ) (*publication 1*).
4. Attention and concentration levels are lower in women than in men regardless of the testing session. Sleep deprivation affects the level of attention and concentration in a sample measuring the number of correct responses in the COG test in women and men. However, the number of incorrect reactions is higher only in women after sleep deprivation ( $p > 0.05$ ) (*publication 1*).



5. Twenty-four hour sleep deprivation does not impair postural control in all trials among male and female subjects (*publication 2*):

- postural stability is lower after 24 hours sleep deprivation only in males in both posturographic parameters under visual control,
- in the lack of visual control condition, postural stability is worse in all subjects and especially in men than in the open-eye trials

### III. PIŚMIENICTWO / REFERENCES

1. Alghadir AH, Zafar H, Anwer S. Effect of footwear on standing balance in healthy young adult males. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2018; 18(1):71-75.
2. Andreeva A, Melnikov A, Skvortsov D, Akhmerova K, Vavaev A, Golov A, Draugelite V, Nikolaev R, Chechelnicakaia S, Zhuk D, Bayerbakh A, Nikulin V, Zemková E. Postural stability in athletes: the role of age, sex, performance level, and athlete shoe features. *Sports* 2020; 8, 89.
3. Avni N, Avni I, Barenboim E, Azaria B, Zadok D, Kohen-Raz R, Morad Y. Brief posturographic test as an indicator of fatigue. *Psychiatry Clin Neurosci.* 2006; 60:340–346.
4. Bachman L and Bachman C. Student perceptions of academic workload in architectural education. *J Archit Plan Res.* 2006; 23(4):271–304.
5. Ballester R, Huertas F, Yuste FJ, Llorens F, Sanabria D. The Relationship between regular sports participation and vigilance in male and female adolescents. *PLoS ONE.* 2015; 10(4): e0123898.
6. Barral J, Debu B. Aiming in adults: sex and laterality effects. *Laterality: asymmetries of body.* Brain Cog. 2004; 9(3):299–312.
7. Behrens T, Burek K, Pallapies D, Kösters L, Lehnert M, Beine A, Wichert K, Kantermann T, Vetter C, Brüning T, Rabstein S. Decreased psychomotor vigilance of female shift workers after working night shifts. *PLoS ONE.* 2019; 14(7): e0219087.
8. Bennell KL and Goldie PA. The differential effects of external ankle support on postural control. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1994; 20: 287–295.
9. Besedovsky L, Lange T, Born J. Sleep and immune function. *Pflugers Arch.* 2012; 463: 121–137.8.

10. Blatter K, Graw P, Münch M, Knoblauch V, Wirz-Justice A, Cajochen C. Gender and age differences in psychomotor vigilance performance under differential sleep pressure conditions. *Behav Brain Res.* 2006; 168:312–7.
11. Brenton-Rule A, D’Almeida S, Bassett S, Carroll M, Dalbeth N, Rome K. The effects of sandals on postural stability in patients with rheumatoid arthritis: an exploratory study. *Clin Biomech.* 2014; 29(3):350-3
12. Brick CA, Seely DL, Palermo TM. Association between sleep hygiene and sleep quality in medical students. *Behav Sleep Med.* 2010; 8(2):113-21.
13. Cain SW, Silva EJ, Chang AM, Ronda JM, Duffy JF. One night of sleep deprivation affects reaction time, but not interference or facilitation in a Stroop task. *Brain Cogn.* 2011; 76(1):37-42.
14. Cajochen C, Frey S, Anders D, Späti J, Bues M, Pross A, Mager R, Wirz-Justice A, Stefani O. Evening exposure to a light-emitting diodes (LED) - backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance. *J Appl Physiol.* 2011; 110(5):1432–8.
15. Campbell R, Soenens B, Beyers W, Vansteenkiste M. University students’ sleep during an exam period : the role of basic psychological needs and stress. *Motiv Emot.* 2018; 42(5):671–81.
16. Carskadon M, Acebo C, Seifer R. Extended nights, sleep loss and recovery sleep in adolescents. *Arch Ital Biol.* 2001; 139:301–312.
17. Chee MW, Tan JC, Zheng H, Parimal S, Weissman DH, Zagorodnov V, Dinges DF. Lapsing during sleep deprivation is associated with distributed changes in brain activation. *J Neurosci.* 2008; 21;28(21):5519-5528.
18. Chittora R, Jain A, Suhalka P, Sharma C, Jaiswal N, Bhatnagar M. Sleep deprivation: neural regulation and consequences. *Sleep Biol Rhythms.* 2015; 13:210–218.

19. Choudhary AK, Kishanrao SS, Dadarao Dhanvijay AK, Alam T. Sleep restriction may lead to disruption in physiological attention and reaction time. *Sleep Sci.* 2016; 9(3):207-211.
20. Coco M, Buscemi A, Guarnera M, La Paglia R, Perciavalle V, Di Corrado D. Sleep deprivation and physiological responses. A case report. *J Funct Morphol Kinesiol.* 2019; 4:17–24.
21. Diekfuss JA, Janssen JA, Slutsky AB, Berry NT, Etnier JL, Wideman L, Raisbeck LD. An external focus of attention is effective for balance control when sleep-deprived. *Int J Exerc Sci.* 2018; 11: 84–94.
22. Doi Y, Minowa M, Uchiyama M, Okawa M. Subjective sleep quality and sleep problems in the general Japanese adult population. *Psychiatry Clin Neurosci.* 2001; 55:213 – 5.
23. Edwards BA, O'Driscoll DM, Ali A, Jordan AS, Trinder J, Malhotra A. Aging and sleep: physiology and pathophysiology. *Semin Respir Crit Care Med.* 2010; 31(5):618-633.
24. Engle-Friedman M, Riela S, Golan R, Ventuneac AM, Davis CM, Jefferson AD, Major D. The effect of sleep loss on next day effort. *J Sleep Res.* 2003 ;12(2):113-24.
25. Goel N, Rao H, Durmer JS, Dinges DF. Neurocognitive consequences of sleep deprivation. *Semin Neurol.* 2009; 29(4):320-39.
26. Gomez S, Patel M, Berg S, Magnusson M, Johansson R, Fransson P. Effects of proprioceptive vibratory stimulation on body movement at 24 and 36 h of sleep deprivation. *Clin Neurophysiol.* 2008; 119:617–625.
27. Goodhines PA, Gellis LA, Kim J, Fucito LM, Park A. Self-medication for sleep in college students: concurrent and prospective associations with sleep and alcohol behavior. *Behav Sleep Med.* 2019; 17(3):327–341.
28. Gunzelmann G, Moore LR, Gluck KA, Van Dongen HPA, Dinges DF. Fatigue in sustained attention: Generalizing mechanisms for time awake to time on task. In: Ackerman PL, editor.

Cognitive Fatigue: Multidisciplinary perspectives on current research and future applications. Washington: American Psychological Association; 2010. pp. 83–96.

29. Hall MH, Brindle RC, Buysse DJ. Sleep and cardiovascular disease: Emerging opportunities for psychology. *Am Psychol*. 2018; 73(8):994-1006.

30. Hamaoui A, Friant Y, Le Bozec S. Does increased muscular tension along the torso impair postural equilibrium in a standing posture? *Gait Posture*. 2011; 34:457–461.

31. Han L and Yang F. Strength or power, which is more important to prevent slip-related falls? *Hum Mov Sci*. 2015; 44:92–200.

32. Hershner SD and Chervin RD. Causes and consequences of sleepiness among college students. *Nat Sci Sleep*. 2014; 6:73-84.

33. Hertel J, Gay MR, Denegar CR. Differences in postural control during single-leg stance among healthy individuals with different foot types. *J Athl Train*. 2002; 37:129–132.33.

34. Hirshkowitz M. Normal human sleep: an overview. *Med Clin North Am*. 2004; 88(3):551-65.

35. Howard SK. Sleep deprivation and physician performance: why should I care? *Bayl Univ Med Cent*. 2005; 18(2):108–112.

36. Johns MW. A new method for measuring daytime sleepiness: the epworth sleepiness scale. *Sleep*. 1991; 14(6):540–545.

37. Kapteyn TS and De Wit G. Posturography as an auxiliary in vestibular investigation. *Acta Otolaryngol*. 1972; 73:104–111.

38. Kohansieh M and Makaryus AN. Sleep Deficiency and Deprivation Leading to Cardiovascular Disease. *Int J Hypertens*. 2015; 2015:615681.

39. Krause AJ, Simon EB, Mander BA, Greer SM, Saletin JM, Goldstein-Piekarski AN, Walker MP. The sleep-deprived human brain. *Nat Rev Neurosci*. 2017; 18(7):404-418.
40. Kujawa K, Ołpińska-Lischka M, Maciaszek J. The influence of 24-hour sleep deprivation on the strength of lower limb muscles in young and physically fit women and men. *Sustainability*. 2020; 12:2762.
41. Kupietz E. *Fatigue After Duty - Subjective Perception or Objective Fact?* [dissertation]. Philipps-Universität Marburg; 2015.
42. Landis CA, Savage MV, Lentz MJ, Brengelmann GL. Sleep deprivation alters body temperature dynamics to mild cooling and heating not sweating threshold in women. *Sleep*. 1998; 21:101–108.
43. Lawson HJ, Wellens-Mensah JT, Attah Nantogma S. Evaluation of Sleep Patterns and Self-Reported Academic Performance among Medical Students at the University of Ghana School of Medicine and Dentistry. *Sleep Disord*. 2019; 11:2019:1278579.
44. Leproult R, Van Cauter E. Role of sleep and sleep loss in hormonal release and metabolism. *Endocr Dev*. 2010; 17:11-21.
45. Lim J, Dinges DF. A meta-analysis of the impact of short-term sleep deprivation on cognitive variables. *Psychol Bull*. 2010; 136(3):375-89.
46. Lim J, Dinges DF. Sleep deprivation and vigilant attention. *Ann N Y Acad Sci*. 2008; 1129:305-22.
47. Liu W, Yuan Q, Zeng N, McDonough DJ, Tao K, Peng Q, Gao Z. Relationships between college students' sedentary behavior, sleep quality, and body mass index. *Int J Environ Res Public Health*. 2021; 9;18(8):3946.
48. Liu Y, Higuchi S, Motohashi Y. Changes in postural sway during a period of sustained wakefulness in male adults. *Occup Med*. 2001; 51:490–495.

49. Loh S, Lamond N, Dorrian J, Roach G, Dawson D. The validity of psychomotor vigilance tasks of less than 10-minute duration. *Behav Res Methods Instrum Comput.* 2004; 36(2): 339–346.
50. Lüdtke H, Wilhelm B, Adler M, Schaeffel F, Wilhelm H. Mathematical procedures in data recording and processing of pupillary fatigue waves. *Vision Res.* 1998; 38(19):2889–2896.
51. Martin T, Gauthier A, Ying Z, Benguigui N, Moussay S, Bulla J, Davenne D, Bessot N. Effect of sleep deprivation on diurnal variation of vertical perception and postural control. *J Appl Physiol.* 2018; 125:167–174.
52. Mauritz KH and Dietz V. Characteristics of postural instability induced by ischemic blocking of leg afferents. *Exp Brain Res.* 1980; 38:117–119.
53. Medic G, Wille M, Hemels ME. Short- and long-term health consequences of sleep disruption. *Nat Sci Sleep.* 2017; 9:151-161.
54. Meerlo P, Sgoifo A, Suchecki D, Restricted and disrupted sleep: effects on autonomic function, neuroendocrine stress systems and stress responsivity. *Sleep Med Rev.* 2008; 12:197–210.
55. Montesinos L, Castaldo R, Cappuccio FP, Pecchia L. Day-to-day variations in sleep quality affect standing balance in healthy adults. *Sci Rep.* 2018; 8:1–10.
56. Morad Y, Lemberg H, Yofe N, Dagan Y. Pupillography as an objective indicator of fatigue. *Curr Eye Res.* 2008; 21(1):535–542.
57. Nagymáté G, Orlovits Z, Kiss RM. Reliability analysis of a sensitive and independent stabilometry parameter set. *PLoS ONE.* 2018; 13:e0195995.
58. Nakano T Araki K, Michimori A, Inbe H, Hagiwara H, Koyama E. Nineteen-hour variation of postural sway, alertness and rectal temperature during sleep deprivation. *Psychiatry Clin. Neurosci.* 2001; 55:277–278.

59. Ogeil RP and Phillips JG. Commonly used stimulants: sleep problems, dependence and psychological distress. *Drug Alcohol Depend.* 2015; 153:145–151.
60. Pascoe MC, Hetrick SE, Parker AG. The impact of stress on students in secondary school and higher education. *Int J Adolesc Youth.* 2020; 25(1):104–112.
61. Patel M, Gomez S, Berg P, Almbladh P, Lindblad J, Petersen H, Magnusson M, Johansson R, Fransson PA. Effects of 24-h and 36-h sleep deprivation on human postural control and adaptation. *Exp Brain Res.* 2008; 185:165–173.
62. Peirano PD, Algarín CR. Sleep in brain development. *Biol Res.* 2007; 40(4):471-8.
63. Polechoński J and Błaszczyk J. The effect of acoustic noise on postural sway in male and female subjects. *J Hum Kinet.* 2006; 15:37–52.
64. Riva D, Mamo C, Fanì M, Saccavino P, Rocca F, Momenté M, Fratta M. Single stance stability and proprioceptive control in older adults living at home: Gender and age differences. *J Aging Res.* 2013; 561695.
65. Robillard R, Prince F, Boissonneault M, Filipini D, Carrier J. Effects of increased homeostatic sleep pressure on postural control and their modulation by attentional resources. *Clin Neurophysiol.* 2011; 122:1771–1778.
66. Sadowska D, Sacewicz T, Lichota M, Krzepota J, Ładyga M. Static postural balance in modern pentathletes: a pilot study. *Int J Environ Res Public Health.* 2019; 16:1760.
67. Schupp M and Hanning C. Physiology of sleep. *Br J Anaest.* 2003; 3(3):69-74.
68. Slepicka P, Slepicková I, Mudrák J. Impact of physical activity and sport on seniors' cognitive function. *Acta Univ Carol Kinanthropol.* 2015; 13:342–350.
69. Solanki J, Joshi N, Shah C, Mehta HB, Gokhle PA. A study of correlation between auditory and visual reaction time in healthy adults. *Int J Med Sci Public Health.* 2012; 2(2):8–10.



70. Taheri M, Arabameri E. The effect of sleep deprivation on choice reaction time and anaerobic power of college student athletes. *Asian J Sports Med.* 2012; 3(1):15–20.
71. Thomas M, Sing H, Belenky G, Holcomb H, Mayberg H, Dannals R, Wagner H, Thorne D, Popp K, Rowland L, Welsh A, Balwinski S, Redmond D. Neural basis of alertness and cognitive performance impairments during sleepiness. I. Effects of 24 h of sleep deprivation on waking human regional brain activity. *J Sleep Res.* 2000; 9(4):335-52.
72. Tsai LL and Li SP. Sleep patterns in college students: gender and grade differences. *J Psychom Res* 2004; 56(2):231-7.
73. Valerio TD, Kim MJ, Sexton-Radek K. Association of stress, general health, and alcohol use with poor sleep quality among U.S. college students. *Am J Health Educ.* 2016; 47(1):17–23.
74. Vidafar P, Gooley JJ, Burns AC, Rajaratnam SMW, Rueger M, Van Reen E, Czeisler CA, Lockley SW, Cain SW. Increased vulnerability to attentional failure during acute sleep deprivation in women depends on menstrual phase. *Sleep.* 2018; 1;41(8):zsy098.
75. Wang PY, Chen KL, Yang SY, Lin PH. Relationship of sleep quality, smartphone dependence, and health-related behaviors in female junior college students. *PLoS ONE.* 2019; 14(4):e0214769.
76. Watson NF, Badr MS, Belenky G, Bliwise DL, Buxton OM, Buysse D, Dinges DF, Gangwisch J, Grandner MA, Kushida C, Malhotra RK, Martin JL, Patel SR, Quan SF, Tasali E. Recommended amount of sleep for a healthy adult: a joint consensus statement of the American Academy of Sleep Medicine and Sleep Research Society. *Sleep.* 2015; 38(6):843–844.
77. Wiegmann S, Felsenberg D, Gast U, Börst H, Armbrecht G, Dietzel R. Balance performance across the lifespan assessed by the Leonardo Mechanograph: A cross-sectional study. *J Funct Morphol Kinesiol.* 2019; 5:1.

78. Wolkow A, Ferguson S, Aisbett B, Main L. Effects of work-related sleep restriction on acute physiological and psychological stress responses and their interactions: A review among emergency service personnel. *Int J Occup Med Environ Health*. 2015; 28(2):183–208.

79. Zeek ML, Savoie MJ, Song M, Kennemur LM, Qian J, Jungnickel PW, Westrick SC. Sleep Duration and Academic Performance Among Student Pharmacists. *Am J Pharm Educ*. 2015; 25;79(5):63.

#### IV. STRESZCZENIE / ABSTRACT

**Wstęp:** Sen odgrywa kluczową rolę w optymalnym funkcjonowaniu człowieka. Niewystarczająca ilość snu jest powszechna wśród studentów i może przyczynić się do obniżenia sprawności psychofizycznej.

**Cel:** Celem badań była analiza różnic po 24-godzinnym braku snu na czas reakcji u młodych kobiet i mężczyzn (*publikacja 1*) oraz ocena wpływu braku snu na stabilność posturalną w zależności od płci po 24-godzinnej deprivacji snu (*publikacja 2*).

**Metody badań:** Do oceny elementów sprawności psychofizycznej posłużono się trzema testami Wiedeńskiego Systemu (COG, WAFF, DT) (*publikacja 1*). Stabilność posturalną oceniono przy użyciu platformy AccuGait™, stosując dwie statyczne próby z oczami otwartymi i zamkniętymi (*publikacja 2*). Stabilność postawy oceniano na podstawie środka nacisku (COP) wykorzystując parametr długości ścieżki (COP) i obszaru wychwiał (area COP). Dodatkowo oceniono poziom senności przy pomocy pupilografu F<sup>2</sup>D *Fit-For-Duty* (*publikacja 1*). Wszystkie pomiary wykonano po normalnej nocy snu i po 24-godzinnej deprivacji snu. Dodatkowo oceniono subiektywną senność przy pomocy skali *Epworth Sleepiness Scale* (ESS) (*publikacja 1*).

**Wyniki:** Zmiany w sprawności psychofizycznej spowodowane 24-godzinną deprivacją snu były bardziej wyraźne u kobiet niż mężczyzn. Największe różnice były zauważalne w teście WAFF (*publikacja 1*). Poziom senności badanych nie zwiększył się w wyniku deprivacji snu. W testach posturograficznych mężczyźni cechują się mniejszym poziomem stabilności posturalnej w odniesieniu do kobiet niezależnie od terminu pomiaru (*publikacja 2*).

**Wnioski:** Ostra deprivacja snu nie wywołuje dużych zmian w sprawności psychofizycznej u młodych i sprawnych fizycznie studentów. Potrzebne są dalsze badania, aby zidentyfikować mechanizmy zmian i wpływ długoterminowej deprivacji snu w tej populacji z zastosowaniem dłuższej deprivacji snu.

**Introduction:** Sleep has a crucial role in optimal human functioning. Insufficient sleep is common among students and may contribute to decreased psychophysical efficiency.

**Objective:** The aim of this study was to analyze differences after 24 hours of sleep deprivation on reaction time among young men and women (*publication 1*) and to evaluate the effects of sleep deprivation on postural stability by gender after 24 hours of sleep deprivation (*publication 2*).

**Research methods:** Three Vienna System Tests (COG, WAFF, DT) were used to assess elements of psychophysical efficiency (*publication 1*). Postural stability was assessed using the AccuGait™ platform with two static tests of eyes open and closed (*publication 2*). Postural stability was assessed by center of pressure (COP) using the parameter of path length (COP) and deflection area (area COP). Additionally, the level of sleepiness was assessed using the F<sup>2</sup>D *Fit-For-Duty* pupillograph (*publication 1*). All measurements were conducted after a normal night of sleep and after 24 hours of sleep deprivation. Furthermore, subjective sleepiness was assessed using *the Epworth Sleepiness Scale* (ESS) (*publication 1*).

**Results:** Changes in psychophysical efficiency due to 24-hour sleep deprivation were more evident among women than men. The greatest differences were noticeable in the WAFF test (*publication 1*). The subjects' level of sleepiness did not increase as a result of sleep deprivation. In the posturographic tests, men had lower levels of postural stability in relation to women regardless of the measurement date (*publication 2*).

**Conclusions:** Acute sleep deprivation does not induce large changes in psychophysical efficiency among young and physically fit students. Further research is needed to identify mechanisms of change and the impact of long-term sleep deprivation in this population using longer sleep deprivation.

## **V. ZAŁĄCZNIKI / APPENDICES**

Oświadczenia współautorów / co-authors' declarations

– publikacja nr 1 / publication No. 1

– publikacja nr 2 / publication No. 2