

AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO  
WE WROCŁAWIU  
WYDZIAŁ FIZJOTERAPII

Oliwer Kahl

Stabilność strukturalna osób z zawrotami głowy  
pochodzenia obwodowego podczas utrzymywania  
równowagi w swobodnej pozycji stojącej  
oraz w próbach uczulonych

Rozprawa doktorska  
wykonana w Zakładzie Fizjoterapii w Neurologii i Pediatrii  
Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu

Promotor:  
dr hab. Małgorzata Mraz, prof. AWF

WROCŁAW 2022

## Spis treści

WYKAZ SKRÓTÓW DOTYCZĄCYCH WYNIKÓW BADAŃ .....	4
WYKAZ SKRÓTÓW UŻYTYCH W TEKŚCIE .....	6
I Wstęp.....	7
I 1. Zawroty głowy.....	7
I 2. Epidemiologia zawrotów głowy .....	8
I 3. Mechanizm kontroli postawy.....	9
I 4. Reakcja na bodziec destabilizujący .....	12
I 5. Diagnostyka zawrotów głowy i niestabilności postawy ciała .....	12
I 6. Leczenie zawrotów głowy .....	14
I 7. Podsumowanie .....	16
II Cel pracy .....	18
III Hipoteza i pytania badawcze .....	19
IV Materiał i metody badań .....	20
IV 1. Charakterystyka badanych osób .....	20
IV 2. Metodyka badań.....	21
IV 3. Metody statystyczne.....	27
V Wyniki badań.....	29
V 1. Ocena stabilności ciała osób z zawrotami głowy oraz osób zdrowych po zastosowaniu czynników destabilizujących oraz prowokujących zawrót głowy .....	29
V 2. Ocena wielkości zmian parametrów posturograficznych po zastosowaniu prób uczulonych u osób z zawrotami głowy w porównaniu z osobami zdrowymi.....	33

V 3. Szacowanie zaburzeń równowagi u osób z obwodowymi zawrotami głowy na podstawie wielkości parametrów posturograficznych .....	39
VI. Dyskusja .....	46
VI 1. Podsumowanie i ograniczenia.....	53
VII WNIOSKI.....	56
VIII PIŚMIENNICTWO.....	57
STRESZCZENIE.....	65
ABSTRACT.....	69
SPIS RYSUNKÓW .....	73
SPIS TABEL.....	74

## WYKAZ SKRÓTÓW DOTYCZĄCYCH WYNIKÓW BADAŃ

A – pole powierzchni stabilogramu

A\_1 – pole powierzchni w próbie stania na twardym podłożu przy oczach otwartych

A\_2 – pole powierzchni w próbie stania na twardym podłożu przy oczach zamkniętych

A\_3 – pole powierzchni w próbie z wykorzystaniem sprzężenia zwrotnego

A\_4\_1 – pole powierzchni w próbie stania na podłożu miękkim (gąbka) przy oczach otwartych

A\_4\_2 – pole powierzchni w próbie stania na podłożu miękkim (gąbka) przy oczach zamkniętych

A\_5\_1 – pole powierzchni w próbie stania w pozycji tandem przy oczach otwartych

A\_6\_1 – pole powierzchni w próbie sit to stand

A\_7\_1 – pole powierzchni w próbie stania z dodatkowym zadaniem mentalnym

A\_8\_1 – pole powierzchni w próbie ze stymulacją optokinetyczną (obraz destabilizujący w goglach VR)

L – długość całkowita stabilogramu

L\_X – długość stabilogramu w płaszczyźnie czołowej

L\_Y – długość stabilogramu w płaszczyźnie strzałkowej

L\_1 – długość ścieżki w próbie stania na twardym podłożu przy oczach otwartych

L\_2 – długość ścieżki w próbie stania na twardym podłożu przy oczach zamkniętych

L\_3 – długość ścieżki w próbie z wykorzystaniem sprzężenia zwrotnego

L\_4\_1 – długość ścieżki w próbie stania na podłożu miękkim (gąbka) przy oczach otwartych

L\_4\_2 – długość ścieżki w próbie stania podłożu miękkim (gąbka) przy oczach zamkniętych

L\_5\_1 – długość ścieżki w próbie stania w pozycji tandem przy oczach otwartych

L\_6\_1 – długość ścieżki w próbie sit to stand

L\_7\_1 – długość ścieżki w próbie stania z dodatkowym zadaniem mentalnym

L\_8\_1 – długość ścieżki w próbie ze stymulacją optokinetyczną (obraz destabilizujący w goglach VR)

- NW\_X – ilość wychwiał w płaszczyźnie czołowej
- NW\_Y – ilość wychwiał w płaszczyźnie strzałkowej
- o.o. – oczy otwarte
- o.z. – oczy zamknięte
- R – średni promień wychyleń
- sdR – odchylenie standardowe średniego promienia
- V – średnia prędkość oscylacji COP
- V\_X – średnia prędkość oscylacji COP w płaszczyźnie czołowej
- V\_Y – średnia prędkość oscylacji COP w płaszczyźnie strzałkowej
- V\_1 – średnia prędkość w próbie stania na twardym podłożu przy oczach otwartych
- V\_2 – średnia prędkość w próbie stania na twardym podłożu przy oczach zamkniętych
- V\_3 – średnia prędkość w próbie z wykorzystaniem sprzężenia zwrotnego
- V\_4\_1 – średnia prędkość w próbie stania na podłożu miękkim (gąbka) przy oczach otwartych
- V\_4\_2 – średnia prędkość w próbie stania podłożu miękkim (gąbka) przy oczach zamkniętych
- V\_5\_1 – średnia prędkość w próbie stania w pozycji tandem przy oczach otwartych
- V\_6\_1 – średnia prędkość w próbie sit to stand
- V\_7\_1 – średnia prędkość w próbie stania z dodatkowym zadaniem mentalnym
- V\_8\_1 – średnia prędkość w próbie ze stymulacją optokinetyczną (obraz destabilizujący w goglach VR)
- WKW – wskaźnik kontroli wzrokowej
- WKW 2 – wskaźnik kontroli wzrokowej w próbie na miękkim podłożu
- WKW-R – wskaźnik koordynacji wzorkowo-ruchowej
- $\Delta A$  – wielkość zmiany pola powierzchni stabilogramu
- $\Delta L$  – wielkość zmiany długości całkowitej stabilogramu
- $\Delta V$  – wielkość zmiany średniej prędkości oscylacji COP
- $\Delta NW\_X$  – wielkość zmiany ilości wychwiał w płaszczyźnie czołowej
- $\Delta NW\_Y$  – wielkość zmiany ilości wychwiał w płaszczyźnie strzałkowej

## WYKAZ SKRÓTÓW UŻYTYCH W TEKŚCIE

AUC – ang. Area under the ROC Curve

BBS – ang. Berg Balance Scale

COG – ang. Center of gravity

COP – ang. Center of pressure

CTSIB – ang. Clinical Test of Sensory Integration of Balance

EDSS – ang. Expanded Disability Status Scale

ENG – elektronystagmografia

GE – grupa eksperymentalna

GK – grupa kontrolna

OR – ang. Odds Ratio

PII – ang. postural instability index

ROC – ang. Receiver Operating Characteristic

SOT – ang. Sensory Organization Test

SPD – (ang. spectral power density)

VNG – videonystagmografia

WHM – ang. White matter hyperintensities

## **I Wstęp**

### **I 1. Zawroty głowy**

Przyjęło się uważać zawroty głowy i zaburzenia równowagi za jeden z najtrudniejszych problemów medycznych (Neuhauser, 2007). Wynika to, ze skomplikowanej budowy anatomicznej narządu równowagi oraz składowych, które biorą udział w procesie utrzymywania równowagi, a w szczególności narządu wzroku, receptorów czucia głębokiego oraz dotyku. Przyczyny zawrotów głowy są różne, a do najczęstszych należą: schorzenia otologiczne, neurologiczne, ogólnoustrojowe, urazy, zatrucia, zaburzenia krążenia oraz schorzenia narządu przedsionkowego (Chan, 2009; Hanley i wsp., 2001; Karatas, 2008; Troost, 2006).

Zawroty głowy są subiektywnym wrażeniem rotacji ciała w przestrzeni wynikającym z zaburzeń układu przedsionkowego, najczęściej pochodzenia obwodowego, spowodowane asymetrią pobudzeń nerwowych pomiędzy lewymi i prawymi jądrami przedsionkowymi. Objawy te, zawsze są chwilowe i zawsze nasilają się przy ruchach głową oraz gwałtownych zmianach pozycji (Halmagyi, 2005).

Zawroty głowy prowadzą do pogorszenia stabilności i wystąpienia ryzyka upadku. Złożony proces utrzymywania równowagi w pozycji stojącej, polegający na zintegrowanej funkcji receptorów w narządzie przedsionkowym, czucia głębokiego oraz narządu wzroku, podczas zawrotu głowy ulega zaburzeniu. Informacje o ułożeniu ciała w przestrzeni przekazane są przez receptory i przetwarzane w ośrodkowym układzie nerwowym. Przetworzone informacje przez układ nerwowo-mięśniowy wyzwalają odruchy przedsionkowo-rdzeniowe i przedsionkowo-okoruchowe. Dzięki tym odruchom dochodzi do utrzymania wzroku na obserwowanym obiekcie i stabilnej postawie ciała.

Uszkodzony błędnik prowadzi do zaburzeń równowagi bioelektrycznej w połączeniach przedsionkowo-rdzeniowych i przedsionkowo-okoruchowych. Skutkuje to oczopląsem, brakiem stabilizacji pola widzenia i zaburzeniami równowagi. W sytuacji, kiedy jeden błędnik funkcjonuje prawidłowo, a drugi jest uszkodzony, dochodzi do asymetrii w stymulacji jąder przedsionkowych, gdzie zdrowy przedsionek stymuluje w nadmiarze, a uszkodzony za słabo. Skutkiem tej asymetrii są zawroty głowy i zaburzenia stabilności postawy ciała ( Jaczewska i Zalewski, 2012; Pierchała, 2008; Tacikowska, 2012).

W wyniku zakłócenia informacji płynącej z któregośkolwiek z tych systemów, dochodzi do zaburzenia naturalnej dla osób zdrowych reakcji na bodźce destabilizujące, np. śliskie podłoże, nierówne podłoże, ruchome podłoże, ciemne pomieszczenia, czy własna aktywność motoryczna. Patologie w układzie przedsionkowym powodują upośledzenie odczuwania i postrzegania ruchu, brak stabilizacji skojarzonego spojrzenia w konsekwencji zaburzenie kontroli postawy. Zaburzenia równowagi i niestabilność w utrzymaniu postawy ciała oraz nieprawidłowy chód, stanowią istotny problem wpływający na stan fizyczny i psychiczny pacjentów z zawrotami głowy.

## **I 2. Epidemiologia zawrotów głowy**

W przeprowadzonym przeglądzie literatury wielokrotnie występują powołania na wyniki prac takich badaczy, jak: Nakashima i wsp. (1996), Neuhauser i wsp. (2005), Sloane (1989) i Wojtczak wsp. (2012). Mimo upływu lat, prace są cytowane przez współczesnych badaczy, np.: Narożny i Kocić (2016), Shahrami i wsp. (2016), czy Wojtczak i wsp. (2017) wskazując na jakość tych prac oraz duży wkład w epidemiologię zawrotów głowy.

Od lat 90tych ubiegłego wieku oceniano częstość występowania zawrotów głowy. W 1993 roku w badaniach Kroenke u 13538 uczestników Programu Badań Epidemiologicznych wykazano występowanie zawrotów głowy u ponad 23% badanych osób (Kroenke i Price, 1993).

Duże badania populacyjne przeprowadzili również: Nakashima i wsp. (1996) u 7685 osób, wykazując problem zawrotów głowy u 6% badanych, Neuhauser i wsp. (2005) u 4869 osób – 7,8% osób z zawrotami głowy, a Hannaford i wsp. (2005) zbadał 15788 osób i stwierdził obecność zawrotów głowy aż u 21% badanych. W badaniu populacyjnym przeprowadzonym przez Wojtczaka i wsp. (2012) u 4799 osób, wykazano występowanie zawrotów głowy i zaburzeń równowagi u ponad 16% badanych. Powyższe dane wyraźnie pokazują jak wiele osób zmaga się z zawrotami głowy i zaburzeniami równowagi.

Zawroty głowy pochodzenia przedsionkowego dotyczą w zależności od miejsca uszkodzenia części ośrodkowej lub obwodowej narządu przedsionkowego, od 11% do 44%, co wykazali na podstawie badań przeprowadzonych u ponad 13tysięcy badanych



Kroenke i wsp. (2000). Pierchała (1998) w przeprowadzonych badaniach u 8148 pacjentów, stwierdziła częstsze występowanie zawrotów głowy i zaburzeń równowagi u kobiet a szczyt zachorowalności określiła na wiek 41-50 lat. Sloane (1989) na podstawie informacji od 17498 chorych stwierdził obecność zawrotów głowy i zaburzeń równowagi u 0,2% osób w wieku do 14 lat; 0,7% osób w wieku 15-25 lat; 1,8% osób w wieku 25-34 lat i 2,4% osób w wieku 45-54 lat. Wojtczak i wsp. (2012) zbadali 4799 chorych i stwierdzili występowanie zawrotów głowy i zaburzeń równowagi u 10,3% osób w wieku 18-34 lat, u 15,6% osób w wieku 35-49 lat, u 23,7% osób w wieku 50-64 lat i u 42,5% osób w wieku powyżej 65 lat. Grimley (1990) wykazał, że zawroty głowy i zaburzenia równowagi dotyczą 33,5% mężczyzn i 40% kobiet. Neuhauser i wsp. (2005) stwierdzili występowanie zawrotów głowy i zaburzeń równowagi u 46% mężczyzn i 54% kobiet. Hannaford i wsp. (2005) wykazali występowanie zawrotów głowy u 48% mężczyzn i 52% kobiet, natomiast Garrigues i wsp. (2008) uzyskali wynik 31% u mężczyzn i 69% u kobiet. Autorzy większości badań epidemiologicznych dotyczących zawrotów głowy i zaburzeń równowagi wykazują przewagę zachorowań wśród kobiet.

Współcześni autorzy jak: Grill i wsp. (2016), Murdin i Schilder (2015), Rey i wsp. (2016), Wong i wsp. (2021) powołują się na prace epidemiologiczne m.in., Nakashima i wsp. (1996), Neuhauser i wsp. (2005), Sloane (1989).

### **I 3. Mechanizm kontroli postawy**

Podstawą zrozumienia zagadnienia kontroli postawy jest wyjaśnienie pojęć równowagi i stabilności. Równowaga, to określony stan układu posturalnego, który charakteryzuje się pionową orientacją ciała, osiągniętą dzięki zrównoważeniu działających na ciało sił oraz ich momentów. Stabilność, to szersze pojęcie, które określa umiejętność odzyskiwania stanu równowagi. Odnosząc to do postawy człowieka, jest to umiejętność aktywnego przywracania typowej pozycji ciała w przestrzeni, która została utracona w wyniku działania czynników destabilizujących (Błaszczuk, 2004).

Pionowa postawa ciała człowieka przy małej płaszczyźnie podporu sprawia, że jest ona podatna na zakłócenia. Na utrzymanie stabilnej, pionowej postawy ciała składa się wiele elementów, np. orientacja przestrzenna, oddziaływanie sił na ciało człowieka, kontrola ruchowa. Za wyznacznik stabilności postawy stojącej przyjmuje się położenie

ogólnego środka ciężkości, COG (ang. center of gravity). Kontrola stabilności postawy, dotyczy zagadnień dynamicznych i jest to zdolność do przeciwstawiania się czynnikom zewnętrznym i wewnętrznym. Równowaga dynamiczna, to zdolność kontroli pionowej postawy człowieka w czasie wykonywania czynności ruchowych, w których ciało przemieszcza się w przestrzeni. W pozycji stojącej środek ciężkości człowieka oscyluje w płaszczyźnie przednio-tylnej i w płaszczyźnie bocznej. Oscylacje są przypadkowe w promieniu 5mm, są poza świadomością człowieka i wywoływane są przez aktywność organizmu, np. bicie serca, oddychanie, krążenie krwi oraz przez aktywność mięśni antygrawitacyjnych (Błaszczak, 2004; Gurpinar i wsp., 2020; Mangalam i Kelty-Stephen, 2021).

Zaburzenie równowagi przez działanie bodźca wymaga wprowadzenia korekcji. Korekcja jest możliwa w obszarze marginesu bezpieczeństwa, którego przekroczenie uniemożliwia odzyskanie równowagi. Realizacja kontroli postawy odbywa się na dwa sposoby. Pierwszy sposób, to kontrola kąta wychylenia ciała względem płaszczyzny podporu i odbywa się z udziałem proprioceptorów stawu skokowego. Zmiana kąta wychylenia powoduje zmianę napięcia mięśni, która jest rejestrowana przez proprioceptory. Drugi sposób to kontrola położenia ciała na podstawie położenia głowy w przestrzeni, z wykorzystaniem narządu wzroku i narządu równowagi (Błaszczak, 2004; Henry i Baudry, 2019).

Kontrola pionowej postawy ciała jest sterowana przez układ nerwowy. Sterowanie jest możliwe dzięki informacjom, które pochodzą z narządu wzroku, proprioceptorów i narządu równowagi. Narząd wzroku dostarcza informacji o położeniu ciała w przestrzeni, narząd równowagi służy do utrzymania właściwego położenia głowy względem działania siły ciężkości a proprioceptory informują o ustawieniu ciała względem podłoża. Natomiast, narząd równowagi, który pomimo niewielkich rozmiarów ma skomplikowaną budowę oraz tworzy połączenia z wieloma elementami układu nerwowego (Błaszczak 2004; Ivanenko i Gurfinkel, 2018).

Obwodowy układ równowagi składa się z płamki łagiewki i woreczka, które tworzą narząd otolitowy a błoniaste przewody półkoliste tworzą narząd osklepkowy, przewodząc impulsy aferentne nerwem przedsionkowym. Jądra przedsionkowe są wyspecjalizowane szczególnie w zakresie współpracy z ośrodkami ruchowymi pnia mózgu i rdzenia

kręgowego. Jądro przedsionkowe górne powiązane z narządem otolitowym, nadzorując ustawienie oczu w zależności od kierunku działania siły grawitacji. Jądro przedsionkowe przyśrodkowe otrzymuje impulsację z narządu bańkowego i odpowiada za koordynację ruchów oczu, głowy i szyi, w tym za odruch przedsionkowo-okoruchowy i za odruchy przedsionkowo – wegetatywne. Jądro przedsionkowe boczne otrzymuje impulsy z narządu otolitowego i odpowiada za ipsilateralne odruchy przedsionkowo–rdzeniowe. Narządy otolitowe wysyłają impulsację głównie do dróg przedsionkowo–rdzeniowych bocznych a narządy osłepkowe przeważnie do dróg przyśrodkowych. Za kontrolę ruchów kończyn odpowiadają głównie drogi boczne a drogi przyśrodkowe kontrolują przeważnie mięśnie szyi i górnej części tułowia. Droga przedsionkowo–korowa zapewnia poczucie równowagi. Odruch optokinetyczny, to dostosowanie ruchu gałek ocznych do poruszającego się obiektu w polu widzenia. Wykorzystuje informację sensoryczną pochodzącą z narządu wzorku i układu równowagi. Odruch przedsionkowo–okoruchowy odpowiada za utrzymanie obiektu na plamce żółtej siatkówki w czasie szybkich i niespodziewanych ruchów głowy. Ruchy sakadowe pozwalają na szybkie skierowanie plamki żółtej siatkówki na obiekt leżący na obwodzie pola widzenia. W odruchu przedsionkowo – okoruchowym informacja z narządu bańkowego dociera do jądra przedsionkowego przyśrodkowego i jest przekazywana do odpowiednich jąder nerwów gałkoruchowych (Narożny i Prusiński, 2012).

Przeciwdziałanie utracie równowagi jest możliwe w bardzo krótkim czasie, czyli od 70 do 100 ms. W tym czasie czynnik destabilizujący musi zostać wykryty, musi być wybrana odpowiednia strategia, która zapobiegnie utracie równowagi i skutecznie wprowadzona. Przekroczenie tego bardzo krótkiego czasu spowoduje, że odzyskanie stabilności nie będzie możliwe (Błaszczak 2004).

Istnieją trzy strategie mające na celu przeciwdziałaniu utracie równowagi. Pierwsza strategia, to strategia stawu skokowego, która jest związana ze zmianą kąta stawów skokowych, czego skutkiem jest odruchowa odpowiedź mięśni trójgłowych łydki. Druga strategii, a to strategia stawu biodrowego, dominującą rolę odrywają zginacze i prostownik stawu biodrowego. Trzecia strategia, to strategia jednego kroku, jest ona wykorzystywana w sytuacji przekroczenia marginesu stabilności przez środek ciężkości ciała. Ta strategia chroni człowieka przed upadkiem (Błaszczak 2004; Henry i Baudry, 2019).

#### **I 4. Reakcja na bodziec destabilizujący**

Osoby zdrowe, u których kontrola postawy ciała działa poprawnie mają prawidłową reakcję na bodziec destabilizujący, np. idąc po nierównym podłożu, przy słabym oświetleniu następuje automatyczna reakcja rozpoznająca czynnik destabilizujący, a następnie reakcja korygująca i stabilizująca postawę ciała. Uszkodzenie narządu równowagi i w konsekwencji nieprawidłowe działanie wpływają na nieprawidłową reakcję na bodziec destabilizujący. Wynika to z bezpośrednich połączeń narządu wzroku i narządu równowagi. U pacjenta z uszkodzonym narządem równowagi destabilizacja może nastąpić w skutek: oczopląsu, zawrotu głowy, słabego oświetlenia, nierównego podłoża, dużych otwartych przestrzeni. W takiej sytuacji promień oscylacji środka ciężkości, COP (ang. center of pressure) będzie większy, częściej będą wprowadzane strategie przeciw utracie równowagi, natomiast w chodzie zwiększy się faza podporu przez wydłużenie kroku (Dougherty i wsp., 2021; Lucieer i wsp., 2018; Srtupp i wsp., 2020).

Destabilizacja jest niebezpieczna dla osoby z uszkodzonym narządem przedsionkowym, ponieważ może prowadzić do upadku i w konsekwencji do powstania poważnego urazu a nawet śmierci (Cao i wsp., 2021).

Objawy zawrotów głowy, to wirowanie otoczenia, nudności, wymioty, mroczenia przed oczami. Zawroty głowy mogą zwiększać ryzyko upadków. Konsekwencją upadków mogą być urazy wraz z powikłaniami. Wzrost ryzyka upadków, jako skutek zawrotów głowy powoduje obniżenie jakości życia chorego (Neuhauser i wsp., 2008). W konsekwencji, osoba doznająca zawrotu głowy z obawy o utratę równowagi i upadek ogranicza codzienną aktywność, nie tylko fizyczną, społeczną i środowiskową ale i zawodową (Forestier i wsp., 2019). Sytuacja ta zwiększa bezczynny czas, pobytu w domu. Taki stan sprzyja siedmiokrotnemu wzrostowi występowania objawów depresji u osób z zaburzeniami przedsionkowymi (Grunfeld i wsp. 2003). Neuhauser i wsp. (2008) wykazali, że co piąty chory z zawrotami głowy ma obawy przed każdą próbą opuszczenia własnego domu.

#### **I 5. Diagnostyka zawrotów głowy i niestabilności postawy ciała**

Diagnostyka zawrotów głowy nie jest łatwa, pomimo rozwoju techniki diagnostycznej. Przyczyną trudności w diagnostyce jest złożoność procesu kontroli

postawy ciała. Aby ułatwić i przyspieszyć proces diagnostyki warto skorzystać z badań przesiewowych, np.: prosty i szybki test stania na jednej nodze z oczami otwartymi i oczami zamkniętymi lub bardziej szczegółowy Zmodyfikowany Test Kliniczny Sensorycznej Integracji Równowagi, CTSIB (ang. Clinical Test of Sensory Integration of Balance), który ocenia udział układów: wzrokowego, przedsionkowego i somatosensorycznego w zachowaniu kontroli posturalnej (Vidal i Huijbregst, 2005).

Najczęściej w diagnostyce klinicznej zawrotów głowy wykorzystuje się próby kaloryczne, testy obrotowe, elektronystagmografię i posturoografię (Zamysłowska-Szmytke wsp., 2018). Diagnostyka fizjoterapeutyczna, natomiast, wykorzystuje głównie standardowe próby kliniczne, takie jak: próba szynowa, próba Unterbergera, próba Fukudy, czy próba Romberga oraz zmodyfikowana próba Romberga.

Do diagnostyki fizjoterapeutycznej rzetelnie oceniającej skutki zawrotów głowy należy posturografia. Badanie posturograficzne umożliwia analizę zakresu wychwiał w zaburzeniach równowagi (Szostek-Rogula i Zamysłowska-Szmytke, 2015). Platforma posturograficzna pozwala na przeprowadzenie badania w próbach standardowych oraz w próbach zmodyfikowanych, np.: próba sit to stand. Jest to urządzenie którym, można dokonać pomiaru w dowolnym miejscu, np.: przychodni czy szkole (Möhwald i wsp., 2017). Wykazano, że posturografia w połączeniu z innymi testami funkcji układu przedsionkowego zwiększa swoją czułość o 61-89% (DiFabio, 1996).

Diagnostyka fizjoterapeutyczna z wykorzystaniem platformy posturograficznej ogranicza się do przeprowadzenia prób przy oczach otwartych i zamkniętych (Zamysłowska-Szmytke i wsp., 2018). Niektórzy autorzy wykorzystują próby uczulone, np.: pozycja tandem, czyli stopa ustawiona za stopą (Best i wsp., 2015) lub próbę przy oczach otwartych/zamkniętych w staniu na miękkim podłożu, np. na gąbce (Roceanu i wsp., 2014; Zamysłowska-Szmytke i wsp., 2018). W bardziej nowatorskich projektach w celu wzmocnienia zwrotów głowy wykorzystuje się stymulację optokinetyczną, czyli wywołanie oczopląsu przez szybko przesuwaną się obraz przed oczami osoby badanej (Van Ombergen i wsp., 2016) lub próbę dynamiczną dostępną w oprogramowaniu posturografu, polegającą na świadomej destabilizacji i stabilizacji wykorzystując wzrokowe sprzężenie zwrotne. Opisany przez Nashera, Test Organizacji Sensorycznej, SOT (ang. Sensory Organization Test) składa się z 6 prób: stanie na nieruchomym podłożu

przy oczach otwartych, stanie na nieruchomym podłożu przy oczach zamkniętych, stanie na nieruchomym podłożu przy oczach otwartych z ruchem otoczenia, stanie na ruchomym podłożu przy oczach otwartych, stanie na ruchomym podłożu przy oczach zamkniętych, stanie na ruchomym podłożu przy oczach z ruchem otoczenia (Makowska, 2017). Warunki 6ciu prób wynikają z udziału zmysłów w kontroli postawy. Próba przy oczach otwartych na twardym podłożu ocenia udział w kontroli postawy narządu wzroku, narządu przedsionkowego i proprioceptorów. Próba przy oczach zamkniętych na miękkim podłożu ocenia udział w kontroli postawy narządu przedsionkowego i proprioceptorów. Próba przy oczach otwartych na miękkim podłożu ocenia udział w kontroli postawy narządu wzroku i narządu przedsionkowego. Próba przy oczach zamkniętych na miękkim podłożu ocenia udział w kontroli postawy narządu przedsionkowego (Agrawal i wsp., 2011).

Do przeprowadzenia testu SOT niezbędna jest platforma posturograficzna dynamiczna. Koszt takiej platformy ogranicza dostępność tego testu w diagnostyce fizjoterapeutycznej.

W czasie badania na platformie posturograficznej jest mierzonych kilkadziesiąt parametrów. Dokonując przeglądu literatury można zwrócić uwagę, że analizie poddanych jest tylko kilka z nich, np. pole powierzchni całkowitej, prędkość wychyleń COP, ilość wychyleń COP, rozkład masy w płaszczyźnie przednio-tylnej i bocznej, całkowita długość ścieżki COP. W uszkodzeniu narządu przedsionkowego analiza pojedynczych parametrów jest niewystarczająca (Cesaroni i wsp., 2021; Gorski i wsp., 2019; Inojosa i wsp., 2020; Smółka i wsp., 2020). Należałoby taką analizę poszerzyć o pozostałe zmierzone parametry i wskaźniki, np. wskaźnik koordynacji wzrokowo-ruchowej (Kahl i wsp. 2021). Brak standaryzacji procedur testowych i wartości normatywnych dla poszczególnych testów sprawia, że niezawodność i powtarzalność nie jest na odpowiednio wysokim poziomie, co jest wymagane w diagnozowaniu konsekwencji uszkodzenia narządu przedsionkowego (Starkov i wsp., 2021).

## **I 6. Leczenie zawrotów głowy**

W leczeniu uszkodzonego narządu przedsionkowego stosuje się leczenie zachowawcze i rehabilitację. Leczenie zachowawcze, czyli farmakoterapia, to głównie

postępowanie objawowe, którego celem jest eliminacja objawów neurowegetatywnych i zawrotów. Leczenie to, wpływa na poprawę metabolizmu tkanki nerwowej, stymulację lub hamowanie neuroprzebiegów, poprawę transportu przez barierę krew-mózg i zwiększenie przepływu krwi przez narząd przedsionkowy. Środki stosowane w farmakoterapii, to leki antyhistaminowe, neuroleptyki, antagoniści wapnia, antycholinergiczne, preparaty benzodiazepin i serotoninoergiczne (Prusiński, 2011).

W fizjoterapii uszkodzonego narządu równowagi wykorzystuje się ćwiczenia fizyczne i wzrokowe. W tym procesie bardzo ważna jest edukacja pacjenta i dokładne wyjaśnienie przebiegu fizjoterapii, ponieważ w pierwszym okresie ćwiczenia nasilają objawy. Fizjoterapia oparta jest na zjawisku habituacji przedsionkowej – jest to stopniowe hamowanie reakcji, uwarunkowanej powstaniem reakcji przeciwnej, do której rozwinięcia niezbędny jest powtarzający się bodziec (Hall i wsp., 2016).

Pionierami rehabilitacji uszkodzonego narządu przedsionkowego byli Cawthorne i Cooksey. W latach 40-tych XX wieku stworzyli zestaw ćwiczeń w pozycji leżącej, siedzącej, stojącej i w czasie chodu, oparty o ruchy gałkami ocznymi, głową, schylaniu się, chodzeniu. W kolejnych latach metoda opracowana przez Cawthorne'a i Cooksey'a była modyfikowana w miarę rozwoju wiedzy. Zaczęto wprowadzać fizjoterapię indywidualną, dostosowaną do stanu pacjenta (Prusiński, 2011).

Oprócz ćwiczeń bezpośrednio stymulujących narząd równowagi, w fizjoterapii wykorzystuje się również konflikt sensoryczny. Najprostszym sposobem wywołującym konflikt sensoryczny jest zamknięcie oczu i stanie na nierównym podłożu. Różne konfiguracje takiego konfliktu poprzez zamykanie/otwieranie oczu, stosowanie podłoża twardego/miękkiego są wykorzystywane w terapii. Obecnie wywołanie konfliktu sensorycznego jest jeszcze łatwiejsze dzięki wykorzystaniu w diagnostyce i rehabilitacji zawrotów głowy wirtualnej rzeczywistości (Yamamoto i Ganancia, 2012). Wirtualna rzeczywistość, to przede wszystkim pełne skupienie pacjenta na obrazie wyświetlanym w goglach do wirtualnej rzeczywistości i odcięcie od bodźców zewnętrznych. Dużą zaletą stosowania wirtualnej rzeczywistości jest dostosowanie bodźca do stanu pacjenta.

W fizjoterapii wykorzystuje się również platformę posturograficzną, dzięki której pacjent ćwiczy koordynację wzrokowo-ruchową i stabilność, z wykorzystaniem wzrokowego sprzężenia zwrotnego. W terapii wykorzystuje się zadania oparte na

świadomej, kontrolowanej wzrokiem destabilizacji i stabilizacji ciała (Hall i wsp., 2016; Stankiewicz i wsp., 2020). Marioni i wsp. (2013) w terapii uszkodzonego narządu równowagi wykorzystali platformę posturograficzną, uzupełniając ćwiczenie stymulacją narządu przedsionkowego przez odpowiednie ruchy głową oraz ćwiczenia równoważne na twardym i miękkim podłożu.

Pomimo rozwoju techniki, w leczeniu zawrotów głowy z powodu uszkodzonego narządu równowagi, stosuje się ćwiczenia z wykorzystaniem podłoża o różnym stopniu twardości, ćwiczenia z oczami otwartymi i zamkniętymi, ćwiczenia stabilizujące spojrzenie, ćwiczenia z wykorzystaniem ruchów głową i ćwiczenia, które łączą ruchy głową z otwarciem/zamknięciem oczu i twardym/miękkim podłożem.

Kundakci i wsp. (2018) przeprowadzili przegląd literatury dotyczący efektywności rehabilitacji przedsionkowej. Spośród 376 publikacji kryteria włączenia do analizy spełniły 4 artykuły. Analiza wykazała, że czas rehabilitacji jest mocno zróżnicowany i wynosi od 3 do 12 tygodni, a w prowadzonych terapiach dominują ćwiczenia stabilizacji spojrzenia oraz ćwiczenia wykorzystujące ruchy głową. Autorzy przeglądu wnioskuje, że rehabilitacja przedsionkowa jest skuteczna, prowadzi do poprawy ogólnego stanu chorego, stabilności, samopoczucia, a także zmniejsza ryzyko upadku.

## **I 7. Podsumowanie**

Ocena stabilności osób z obwodowym uszkodzeniem błędnika podczas utrzymywania równowagi w pozycji stojącej na platformie posturograficznej jest dość trudna. Stąd propozycje badania posturograficznego w różnych warunkach, na różnych podłożach oraz z kontrolą i bez kontroli wzroku. Uszkodzony błędnik prowadząc do zaburzeń równowagi bioelektrycznej w połączeniach przedsionkowo-rdzeniowych i przedsionkowo-okoruchowych skutkuje oczopląsem i brakiem stabilizacji pola widzenia, i w konsekwencji pojawia się zawrót głowy, czyli złudzenie (iluzja) ruchu otoczenia (najczęściej wirowego) lub własnego ciała albo tylko głowy. Efektem tej iluzji są zaburzenia równowagi i niestabilność. Aby tę niestabilność ocenić badaniem posturograficznym należy wzmocnić/sprowokować zawroty głowy.

Wyznaczenie wartości progowych zmierzonych parametrów podczas prób na platformie posturograficznej i szacowanie zagrożenia zaburzeniami równowagi oraz



stopień/obecność kompensacji przedsionkowej jest kluczowe w diagnostyce posturograficznej osób z uszkodzonym narządem przedsionkowym. Pozwala to na szybkie wprowadzenie skuteczniejszej terapii i osiągnięcie głównego celu jakim jest ograniczenie/niwelowanie ryzyka upadku.

Zawroty głowy pochodzenia przedsionkowego są złożonym problemem i wymagają od fizjoterapeuty dokładnej diagnostyki i szczegółowego omówienia planu terapii z pacjentem.

## **II Cel pracy**

Celem pracy jest ocena stabilności ciała osób z obwodowym uszkodzeniem części przedsionkowej błędniaka podczas utrzymywania równowagi w swobodnej pozycji stojącej oraz zaburzonej czynnikami prowokującymi zawrót głowy.

Analiza i ocena wielkości parametrów posturograficznych uzyskanych z rejestracji oscylacji COP u osób z zawrotami głowy, u których stwierdzono zaburzenia równowagi w czynnościach codziennych, w porównaniu do osób, które nie wykazują zaburzeń równowagi, pozwoli na wyłonienie parametru istotnie charakteryzującego niestabilność, wraz z wyznaczeniem wielkości na podstawie, której będzie możliwe szacowanie zagrożenia zaburzeniami równowagi oraz stopień/obecność kompensacji przedsionkowej.

### **III Hipoteza i pytania badawcze**

U osób z obwodowym uszkodzeniem układu przedsionkowego dochodzi do zaburzenia naturalnej dla osób zdrowych reakcji na bodziec destabilizujący.

#### Pytania badawcze

1. Jak zmienia się stabilność ciała osób z zawrotami głowy po zastosowaniu czynników prowokujących zawrót głowy?
2. Jak zmienia się stabilność ciała osób zdrowych po zastosowaniu prób uczulonych?
3. Czy i jak wielkość zmiany parametrów posturograficznych po zastosowaniu prób uczulonych różni się u osób z zawrotami głowy w porównaniu z osobami zdrowymi?
4. Czy na podstawie wielkości parametrów posturograficznych jest możliwe szacowanie zaburzeń równowagi u osób z obwodowymi zawrotami głowy?
5. Czy na podstawie wielkości parametrów posturograficznych jest możliwe szacowanie kompensacji przedsionkowej?

## **IV Materiał i metody badań**

### **IV 1. Charakterystyka badanych osób**

#### **Grupa eksperymentalna (GE)**

Osoby badane były kierowane przez lekarza specjalistę z Dolnośląskiego Centrum Laryngologii MEDICUS, gdzie odbyła się kliniczna diagnostyka uszkodzeń obwodowego układu przedsionkowego i kwalifikacja do programu.

Każdy uczestnik badania wyraził pisemną zgodę na udział w eksperymencie i został poinformowany o możliwości wycofania się bez podania przyczyny. Każda z osób miała możliwość zadawania pytań podczas przeprowadzania eksperymentu. W czasie każdej próby osoba badana miała zapewnioną asekurację.

W badaniach wzięło udział 21 osób obojga płci (16 kobiet i 5 mężczyzn), w wieku od 21 do 42 lat (średnia wieku  $35,14 \pm SD 5,14$ ), u których zdiagnozowane były zawroty głowy wynikające z uszkodzenia obwodowego układu przedsionkowego. Wykonana próba Romberga, wykazała wynik dodatni u 7 osób, wynik ujemny u 14 osób. Analiza porównawcza wyniku skali równowagi Berg u osób z dodatnią i ujemną próbą Romberga wykazała istotnie niższy ( $p=0,00$ ) wynik tej oceny u osób z dodatnią próbą Romberga (średnia  $30,5 \pm SD 4,3$ ) w porównaniu z osobami, u których próba Romberga była ujemna (średnia  $35,6 \pm SD 5,3$ ). Dodatni wynik zmodyfikowanej próby Romberga uzyskało 8 osób z zawrotami głowy.

Osoby badane nie miały zaburzeń stabilności posturalnej pochodzenia innego niż przedsionkowe.

#### **Grupa kontrolna (GK)**

Grupa kontrolna, to 30 osób obojga płci (16 kobiet i 14 mężczyzn) bez objawów zawrotów głowy i zaburzeń równowagi w wieku od 21 do 28 lat (średnia wieku  $23,9 \pm SD 1,9$ ), które nie uprawiają zawodowo sportu i nie zgłaszały objawów chorobowych.

## IV 2. Metodyka badań

### Przebieg badań w grupie eksperymentalnej

I. Kwalifikacja do badań przez lekarza specjalistę w Dolnośląskim Centrum Laryngologii MEDICUS według kryteriów:

- wiek w przedziale od 20 do 42 lat,
- brak zaburzeń stabilności posturalnej pochodzenia innego niż przedsionkowe,
- wskazanie do rehabilitacji przedsionkowej.

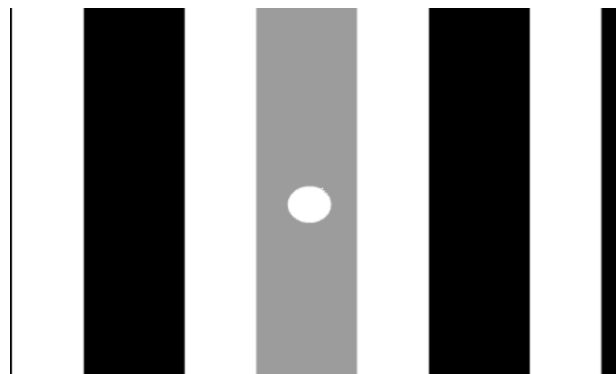
II. Kolejność przeprowadzania badań w grupie eksperymentalnej:

1. Wywiad
2. Próba Romberga i Zmodyfikowana próba Romberga (Adelsberger i wsp., 2015; Agrawal i wsp., 2011; Hong i wsp., 2015; Koo i wsp., 2015).
3. Ocena równowagi Berg (ang. Berg Balance Scale, skrót BBS). Skala Berg ustala trafność predykcijną pod względem ryzyka upadków. Poprawnie odróżnia osoby doświadczające upadków od takich, które nie upadają z 91% czułością i 82% swoistością (Vidal i Huijbregst, 2005).
4. Badanie na platformie posturograficznej z wykorzystaniem posturografu firmy PRO-MED. Pomiar w próbach statycznych trwa 32 sekundy i poprzedzony jest 5 sekundową kalibracją.
  - 4.1. Próba standardowa w pozycji swobodnej stojącej przy oczach otwartych
  - 4.2. Próba standardowa w pozycji stojącej przy oczach zamkniętych
  - 4.3. Próba standardowa w pozycji stojącej z wykorzystaniem wzrokowego sprzężenia zwrotnego
  - 4.4. Próba na podłożu miękkim (gąbka grubości 25 cm) w pozycji stojącej przy oczach otwartych
  - 4.5. Próba na podłożu miękkim (gąbka grubości 25 cm) w pozycji stojącej przy oczach zamkniętych
  - 4.6. Próba w pozycji stojącej tandem (stopa za stopą) przy oczach otwartych
  - 4.7. Próba po zmianie pozycji z siedzenia do stania (ang. sit to stand) – osoba badana siedzi na ławce o wysokości 50cm, ze stopami opartymi na platformie w wyznaczonych miejscach, na sygnał „start” następuje przyjęcie pozycji stojącej;

pomiar jest uruchamiany jest po przyjęciu pozycji stojącej (wyłączona funkcja 5 sekundowej kalibracji)

4.8. Próba w pozycji stojącej z wykonywaniem dodatkowego zadania mentalnego - test Stroopa (Kuczyński i wsp., 2011; Tomaszewska i wsp., 2010). Zadanie polegało na jak najszybszym nazywaniu barw słów, napisanych innym kolorem niż ich znaczenie. Słowa wyświetlane były na ekranie rzutnika, na białej ścianie, na wysokości wzroku badanych w taki sposób, by nie poruszali głową podczas wykonywania zadania.

4.9. Próba w pozycji swobodnej stojącej ze stymulacją optokinetyczną, w postaci obrazu destabilizacyjnego, który wyświetlał się w goglach osoby badanej. Obrazem tym są pionowe biało-czarne pasy, a czas przejścia obiektu przez pole widzenia wynosi 2,24sek. (rys. 1).



Rysunek 1. Obraz obserwowany w goglach – stymulacja optokinetyczna

4.10 Próba w pozycji stojącej (próba dynamiczna) z wykorzystaniem wzrokowego sprzężenia zwrotnego (destabilizacja i stabilizacja według zaprojektowanego obrazu). Pomiar posturograficzny ze wzrokowo-ruchowym sprzężeniem zwrotnym (świadomą kontrolą wzrokową) polega na obserwacji przez osobę znajdującą się na platformie posturograficznej punktu chwilowego położenia COP tej osoby, mapowanego na ekran komputera w postaci czarnej plamki, która odwzorowuje ruchy COP. Obserwacja położenia obiektu reprezentującego COP umożliwia świadome sterowanie położeniem COP i dzięki temu utrzymywanie go w zadanym położeniu z dokładnością, która w dużym

stopniu wynika z koordynacji wzrokowo-ruchowej badanej osoby. Próba dynamiczna, to zestaw obiektów wyświetlanych na obwodzie elipsy (8 obiektów) z punktem centralnym w środku układu współrzędnych. Zadanie polega na świadomej, sterowanej kontroli wzrokową destabilizacji – obiekt na obwodzie i świadomej stabilizacji – obiekt w centrum (rys. 2). Miarą tej próby jest procentowa dokładność osiągnięcia poszczególnych obiektów tak na obwodzie, jak i w centrum układu oraz długość ścieżki COP [mm] całego zadania.

*Parametry globalne*

*Kolor tła*      *Kolor plamki*      *Kolor wyników*

Calkowity czas [s]: 86

Powroty do obiektu centralnego       Ślad

Czas od wyświetlenia       Czas tylko wewnątrz

*Kolor obiektu*

R +/-[mm]: 4

Czas [s]: 5

*Bieżąca ramka*

*Kolor obiektu*

R +/-[mm]: 4

X [mm]: 0

Y [mm]: 0

Czas [s]: 1

Nr.	Typ	Czas [s]	Rozmiar [mm]	X [mm]	Y [mm]	Kolor
1	Kwadrat	1	4	0	0	FFFFFFFF
2	Kwadrat	5	4	0	35	FFFFFFFF
3	Kwadrat	5	4	20	25	FFFFFFFF
4	Kwadrat	5	4	35	0	FFFFFFFF
5	Kwadrat	5	4	20	-15	FFFFFFFF
6	Kwadrat	5	4	0	-20	FFFFFFFF
7	Kwadrat	5	4	-20	-15	FFFFFFFF
8	Kwadrat	5	4	-35	0	FFFFFFFF
9	Kwadrat	5	4	-20	25	FFFFFFFF

*Dodaj przed...*      *Dodaj pierwszy*

*Dodaj za...*      *Dodaj ostatni*

Przesuwanie      *Usuń*

Rysunek 2. Obraz próby dynamicznej – lokalizacja i czas wyświetlania dziewięciu obiektów

Każdy 32-sekundowy pomiar (badanie 1-9) przedzielony był krótką przerwą, eliminującą dyskomfort związany z dłuższym pozostawaniem w pozycji stojącej. Badanie posturograficzne wykonywano z asekuracją badanego.

Stabilność badanych podczas utrzymywania równowagi w pozycji stojącej, oceniana była wielkością parametrów posturograficznych wynikających z przemieszczeń

COP: średni promień wychyleń (R) [mm] od środka układu współrzędnych, odchylenie standardowe średniego promienia (sdR), pole powierzchni stabilogramu (A) [mm], długość całkowita stabilogramu (L) [mm], długość stabilogramu w płaszczyźnie czołowej (L\_X) [mm] i strzałkowej (L\_Y) [mm], średnia prędkość oscylacji COP (V) [mm/s], średnia prędkość oscylacji COP w płaszczyźnie czołowej (V\_X) [mm/s] i strzałkowej (V\_Y) [mm/s], ilość wychwiał w płaszczyźnie czołowej (NW\_X) i strzałkowej (NW\_Y).

Próba dynamiczna oceniona została długością ścieżki COP [mm] całego zadania.

W celu wykazania udziału wzroku w kontroli postawy wykorzystano wskaźnik kontroli wzrokowej (WKW) [%], który określa stosunek procentowy pola powierzchni stabilogramu przy oczach zamkniętych (o.z.) do oczu otwartych (o.o.), obliczany według następującego wzoru (Mraz i wsp. 2018, Kahl i wsp. 2020):

$$WKW = 100 \times \frac{(\text{Pole powierzchni stabilogramu o.z.} - \text{pole powierzchni stabilogramu o.o.})}{(\text{Pole powierzchni stabilogramu o.z.} + \text{pole powierzchni stabilogramu o.o.})}$$

Założono:

WKW > 0 wzrokowa kompensacja zaburzeń równowagi,

WKW < 0 brak wzrokowej kompensacji zaburzeń równowagi.

Do wykazania skuteczności koordynacji wzrokowo-ruchowej w utrzymywaniu równowagi ciała zastosowano wskaźnik kontroli wzrokowo-ruchowej (WKW-R) [%], który określa stosunek procentowy pola powierzchni stabilogramu przy oczach zamkniętych do oceny w sprzężeniu zwrotnym, obliczony wg wzoru (Mraz i wsp. 2018; Kahl i wsp. 2020):

$$WKW-R = 100 \times \frac{(\text{Pole powierzchni stabilogramu o.z.} - \text{pole powierzchni stabilogramu s.z.})}{(\text{Pole powierzchni stabilogramu o.z.} + \text{pole powierzchni stabilogramu s.z.})}$$

Założono:

WKW-R > 0 skuteczna koordynacja wzrokowo-ruchowa w kompensacji zaburzeń równowagi,

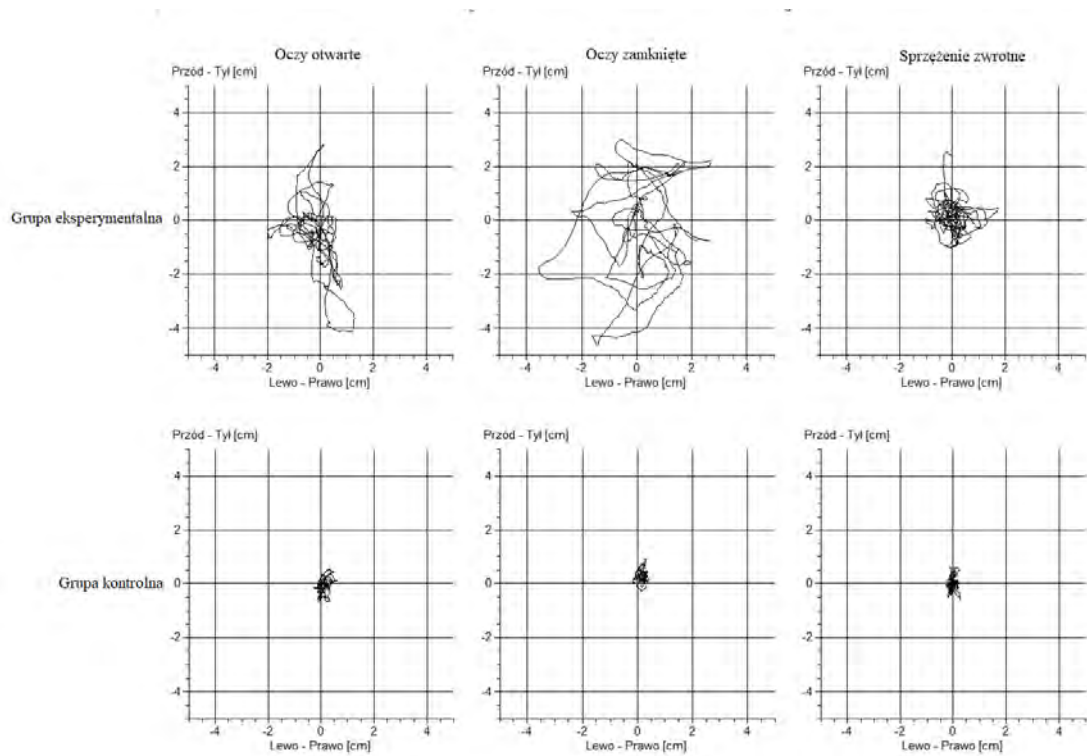
WKW-R < 0 brak wzrokowo-ruchowej kompensacji zaburzeń równowagi.



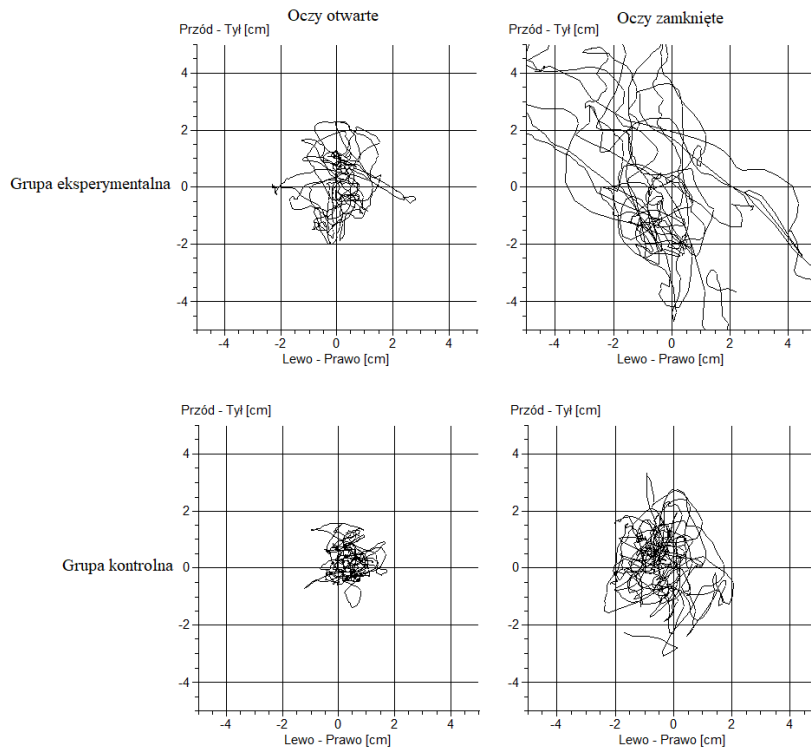
## Przebieg badań w grupie kontrolnej

1. Wywiad
2. Badanie na platformie posturograficznej wg protokołu grupy eksperymentalnej

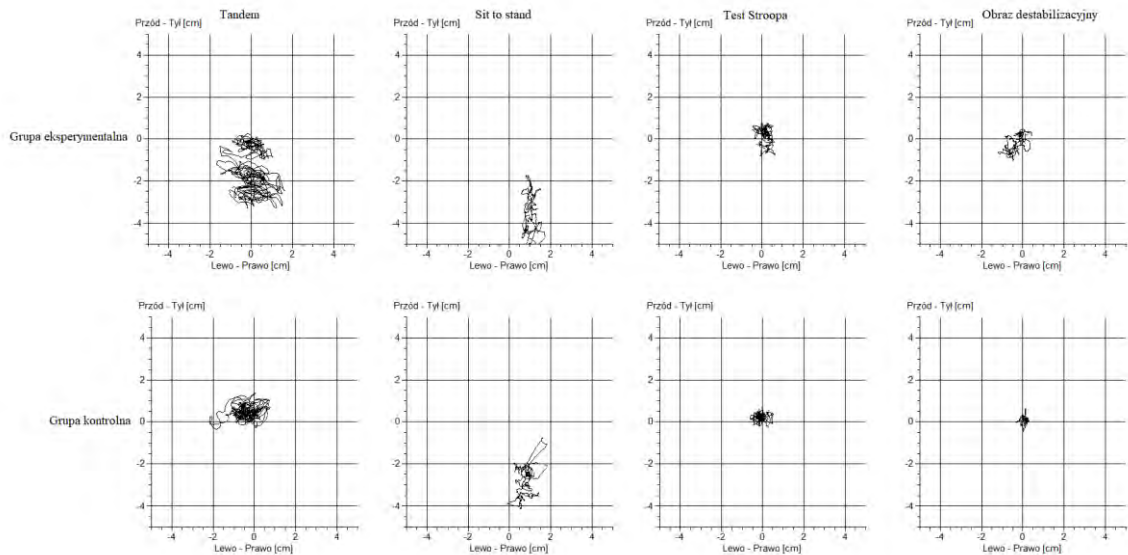
Przykładowe stabilogramy osób z poszczególnych prób 1-10 w grupie eksperymentalnej i w grupie kontrolnej przedstawiono na rysunku 3, 4, 5, 6.



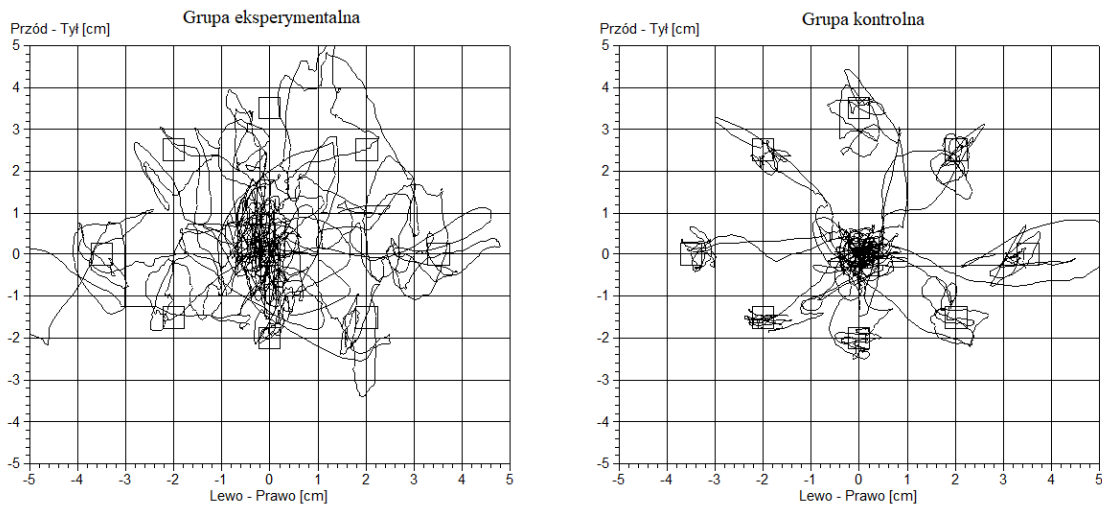
Rysunek 3. Przykładowe stabilogramy próby standardowej osoby z zawrotami głowy (GE) i osoby zdrowej (GK)



Rysunek 4. Przykładowe stabilogramy próby stania na gąbce osoby z zawrotami głowy (GE) i osoby zdrowej (GK)



Rysunek 5. Przykładowe stabilogramy prób: w pozycji tandem, „sit to stand”, test Stroopa, stymulacja optokinetyczna osoby z zawrotami głowy (GE) i osoby zdrowej (GK)



Rysunek 6. Przykładowe stabilogramy próby dynamicznej osoby z zawrotami głowy (GE) i osoby zdrowej (GK)

### IV 3. Metody statystyczne

Ocena normalności rozkładu została dokonana za pomocą testu Shapiro-Wilka. Wynik testu wykazał podstawy do odrzucenia hipotezy o rozkładzie normalnym.

Analizę statystyczną opisano z wykorzystaniem: średniej, mediany, minimum, maksimum, odchylenia standardowego i współczynnika zmienności.

Do porównania parametrów między grupą eksperymentalną (osoby z zawrotami głowy) a grupą kontrolną (osoby zdrowe - bez objawów zawrotów głowy) użyto testu rang Wilcoxon. Analizę wewnątrzgrupową dla grupy eksperymentalnej i grupy kontrolnej przeprowadzono testem U Manna-Whitneya.

Za poziom istotności statystycznej przyjęto wartość  $p < 0,05$ .

W celu oszacowania zaburzeń równowagi osób z zawrotami głowy w odniesieniu do zdrowej populacji względem wybranych czynników ryzyka, zastosowano regresję logistyczną (Agresti, 2002). W istocie, regresja logistyczna wyjaśnia, z jakim prawdopodobieństwem badany czynnik może przyczynić się do wystąpienia lub braku zdarzenia (klinicznego) w trakcie prowadzonej obserwacji. W sensie statystycznym, jest metodą, w której zmienna jest określona na skali dychotomicznej, tzn. przyjmuje tylko

dwie wartości („tak” lub „nie”, 1 lub 0, itp.), zaś *eksponens* oszacowanego współczynnika regresji wyraża, tzw. iloraz szans, zapisywany często w literaturze naukowej skrótowo, jako *OR* (ang. *Odds Ratio*). Najogólniej mówiąc, iloraz szans jest miarą określającą ile razy szansa wystąpienia zdarzenia na skutek zadziałania określonego czynnika ryzyka w danej podgrupie jest różna od szansy pojawienia się zdarzenia w podgrupie o jego niższej wartości lub referencyjnej (Agresti, 2002).

Do oceny jakości klasyfikatora i poszukiwania optymalnego punktu odcięcia posłużono się także krzywą jakości klasyfikatora – występującą w literaturze anglojęzycznej pn. *ROC* (z ang. *Receiver Operating Characteristic*). Jest to narzędzie zapewniające łączny opis jego czułości (ang. *Sensitivity*) i specyficzności (ang. *Specificity*) w przestrzeni zmienności cechy klasyfikującej (Fawcett, 2006). Pod pierwszym pojęciem kryje się ocena, jak czuła jest dana metoda, to znaczy, jakie jest prawdopodobieństwo, że posługując się daną techniką uzyskany zostanie spodziewany wynik. Druga miara określa natomiast selektywność danej metody, tj. szansę, że spodziewany rezultat nie-pozytywny w istocie zostanie uzyskany, jako ujemny (Watała, 2002). Dokładność testu mierzono na podstawie pola powierzchni pod krzywą określanego skrótem *AUC* (ang. *Area Under Curve*). Wielkość pola pod krzywą *ROC* mieści się w przedziale  $<0; 1>$ . Im większe jest pole, tym dokładniej zaklasyfikujemy obiekty do grupy (+) i (-) na podstawie analizowanej zmiennej diagnostycznej. Zatem z tym lepszym skutkiem ta zmienna diagnostyczna może być wykorzystywana jako klasyfikator.

## V Wyniki badań

### V 1. Ocena stabilności ciała osób z zawrotami głowy oraz osób zdrowych po zastosowaniu czynników destabilizujących oraz prowokujących zawrót głowy

Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury: Inojosa i wsp. (2020); Karlson i wsp. (2016), Liu i wsp. (2021) oraz Reutimann i wsp. (2022), zostały wybrane parametry posturograficzne, które trafnie charakteryzują obraz stabilności w utrzymywaniu równowagi w pozycji stojącej, tj.: pole powierzchni stabilogramu (A), długość ścieżki stabilogramu (L), średnia prędkość oscylacji COP (V), liczba wychyleń w płaszczyźnie czołowej (NW\_X) oraz strzałkowej (NW\_Y) i poddano je analizie statystycznej.

Ocena stabilności ciała osób z zawrotami głowy i osób zdrowych po zastosowaniu czynników destabilizujących i prowokujących zawrót głowy polega na analizie porównawczej wybranych parametrów z wynikami badania posturograficznego w pozycji stojącej swobodnej (pozycja stojąca na twardym podłożu z oczami otwartymi). Założono, że tą analizą można uzyskać odpowiedź na pytanie o wpływie czynników destabilizujących na sposób utrzymywania równowagi w pozycji stojącej badanych osób (grupa eksperymentalna i grupa kontrolna). Analiza porównawcza, testem kolejności par Wilcoxon'a została przeprowadzona w każdej grupie osobno.

Ocena stabilności ciała osób z zawrotami głowy po zastosowaniu czynników destabilizujących i prowokujących zawrót głowy wykazała istotny wpływ tych czynników na obraz stabilności. Czynnikiem, który w większości analiz nie wykazał wpływu na istotną zmianę wielkości parametrów było zastosowanie dodatkowego zadania mentalnego oraz stymulacja optokinetyczna. Wyniki tej analizy przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Test rang Wilcoxon'a parametrów posturograficznych osób z zawrotami głowy

parametr	N ważnych	T	Z	p
A_1 & A_2	21	56,0000	2,0681	0,0386
A_1 & A_3	21	91,5000	0,8342	0,4042
A_1 & A_4_1	21	0,0000	4,0145	0,0001
A_1 & A_4_2	21	0,0000	4,0145	0,0001
A_1 & A_5_1	21	0,0000	4,0145	0,0001
A_1 & A_6_1	21	0,0000	4,0145	0,0001

A_1 & A_7_1	21	111,0000	0,1564	0,8757
A_1 & A_8_1	21	60,0000	1,9290	0,0537
L_1 & L_2	21	19,5000	3,3367	0,0008
L_1 & L_3	21	22,0000	3,2498	0,0012
L_1 & L_4_1	21	0,0000	4,0145	0,0001
L_1 & L_4_2	21	0,0000	4,0145	0,0001
L_1 & L_5_1	21	0,0000	4,0145	0,0001
L_1 & L_6_1	21	2,0000	3,9450	0,0001
L_1 & L_7_1	21	65,5000	1,7379	0,0822
L_1 & L_8_1	21	105,0000	0,3650	0,7151
V_1 & V_2	21	19,5000	3,3367	0,0008
V_1 & V_3	21	22,0000	3,2498	0,0012
V_1 & V_4_1	21	0,0000	4,0145	0,0001
V_1 & V_4_2	21	0,0000	4,0145	0,0001
V_1 & V_5_1	21	0,0000	4,0145	0,0001
V_1 & V_6_1	21	2,0000	3,9450	0,0001
V_1 & V_7_1	21	66,0000	1,7205	0,0853
V_1 & V_8_1	21	104,5000	0,3823	0,7022
NW_X_1 & NW_X_2	21	79,0000	0,6439	0,5197
NW_X_1 & NW_X_3	21	13,5000	3,4159	0,0006
NW_X_1 & NW_X_4_1	21	0,0000	4,0145	0,0001
NW_X_1 & NW_X_4_2	21	0,0000	4,0145	0,0001
NW_X_1 & NW_X_5_1	21	0,0000	4,0145	0,0001
NW_X_1 & NW_X_6_1	21	6,0000	3,8060	0,0001
NW_X_1 & NW_X_7_1	21	72,5000	1,4946	0,1350
NW_X_1 & NW_X_8_1	21	46,0000	1,9719	0,0486
NW_Y_1 & NW_Y_2	21	21,0000	3,1359	0,0017
NW_Y_1 & NW_Y_3	21	6,5000	3,7886	0,0002
NW_Y_1 & NW_Y_4_1	21	0,0000	4,0145	0,0001
NW_Y_1 & NW_Y_4_2	21	0,0000	4,0145	0,0001
NW_Y_1 & NW_Y_5_1	21	0,0000	4,0145	0,0001
NW_Y_1 & NW_Y_6_1	21	19,5000	3,1919	0,0014
NW_Y_1 & NW_Y_7_1	21	63,5000	1,6173	0,1458
NW_Y_1 & NW_Y_8_1	21	71,0000	1,5467	0,1219

1 oczy otwarte, 2 oczy zamknięte, 3 wzrokowe sprzężenie zwrotne, 4\_1 podłoże miękkie  
 1 oczy otwarte, 4\_2 podłoże miękkie oczy zamknięte, 5 pozycja tandem, 6 sit to stand, 7  
 podwójne zadanie, 8 stymulacja optokinetyczna

Wpływ czynników destabilizujących na obraz utrzymywania równowagi w pozycji stojącej osób zdrowych przedstawiono w tabeli 2. Analiza porównawcza parametrów posturograficznych podczas badania w pozycji stojącej swobodnej w porównaniu z każdym innym sposobem badania wykazała istotne zmiany, co oznacza wpływ czynników destabilizujących na stabilność osób zdrowych. Zastosowanie dodatkowego zadania mentalnego oraz stymulacja optokinetyczna nie wpłynął na istotną zmianę wielkości wybranych parametrów (tab. 2).

Tabela 2. Test rang Wilcoxon na parametrów posturograficznych osób zdrowych

parametr	N ważnych	T	Z	p
A_1 & A_2	30	165,5000	1,3781	0,1682
A_1 & A_3	30	215,5000	0,3497	0,7266
A_1 & A_4_1	30	0,0000	4,7821	0,0000
A_1 & A_4_2	30	0,0000	4,7821	0,0000
A_1 & A_5_1	30	0,0000	4,7821	0,0000
A_1 & A_6_1	30	17,5000	4,4222	0,0000
A_1 & A_7_1	30	222,0000	0,2160	0,8290
A_1 & A_8_1	30	123,0000	2,2522	0,0243
L_1 & L_2	30	61,0000	3,5275	0,0004
L_1 & L_3	30	121,0000	2,2934	0,0218
L_1 & L_4_1	30	0,0000	4,7821	0,0000
L_1 & L_4_2	30	0,0000	4,7821	0,0000
L_1 & L_5_1	30	0,0000	4,7821	0,0000
L_1 & L_6_1	30	37,0000	4,0211	0,0001
L_1 & L_7_1	30	169,5000	1,2958	0,1950
L_1 & L_8_1	30	133,5000	2,0363	0,0417
V_1 & V_2	30	61,0000	3,5275	0,0004
V_1 & V_3	30	121,0000	2,2934	0,0218
V_1 & V_4_1	30	0,0000	4,7821	0,0000
V_1 & V_4_2	30	0,0000	4,7821	0,0000
V_1 & V_5_1	30	0,0000	4,7821	0,0000
V_1 & V_6_1	30	55,5000	3,6406	0,0003
V_1 & V_7_1	30	171,0000	1,2650	0,2059
V_1 & V_8_1	30	133,5000	2,0363	0,0417
NW_X_1 & NW_X_2	30	171,0000	1,2650	0,2059
NW_X_1 & NW_X_3	30	186,0000	0,6811	0,4958
NW_X_1 & NW_X_4_1	30	0,0000	4,7821	0,0000
NW_X_1 & NW_X_4_2	30	0,0000	4,7821	0,0000

NW_X_1 & NW_X_5_1	30	0,0000	4,7821	0,0000
NW_X_1 & NW_X_6_1	30	74,0000	3,2601	0,0011
NW_X_1 & NW_X_7_1	30	173,0000	1,2238	0,2210
NW_X_1 & NW_X_8_1	30	136,5000	1,5143	0,1300
NW_Y_1 & NW_Y_2	30	54,0000	3,6714	0,0002
NW_Y_1 & NW_Y_3	30	100,5000	2,7150	0,0066
NW_Y_1 & NW_Y_4_1	30	4,0000	4,6999	0,0000
NW_Y_1 & NW_Y_4_2	30	0,0000	4,7821	0,0000
NW_Y_1 & NW_Y_5_1	30	0,0000	4,7821	0,0000
NW_Y_1 & NW_Y_6_1	30	111,0000	2,4991	0,0125
NW_Y_1 & NW_Y_7_1	30	154,0000	1,6146	0,1064
NW_Y_1 & NW_Y_8_1	30	154,0000	1,3731	0,1697

1 oczy otwarte, 2 oczy zamknięte, 3 wzrokowe sprzężenie zwrotne, 4\_1 podłoże miękkie oczy otwarte, 4\_2 podłoże miękkie oczy zamknięte, 5 pozycja tandem, 6 sit to stand, 7 podwójne zadanie, 8 stymulacja optokinetyczna

Analizą statystyczną porównano wyniki próby dynamicznej w grupie eksperymentalnej i kontrolnej. Wykazano, że długość oscylacji COP nie wykazuje różnic istotnych statystycznie między osobami z zawrotami głowy a osobami zdrowymi ( $p=0,112$ ), (tab. 3). Tym samym udowodniono, że próba dynamiczna nie różnicuje stabilności badanych osób podczas utrzymywania równowagi w tym zadaniu.

Tabela 3. Test U Manna-Whitneya czasu wykonania zadania dynamicznego między grupami

parametr	U	Z	p
Czas próby dynamicznej	231,5000	1,588535	0,112166

Wyniki analizy statystycznej przedstawione w tabeli 1 i 2 wykazują istotny wpływ czynników destabilizujących i prowokujących zawrót głowy u badanych osób. Żeby odpowiedzieć na pytanie, czy czynniki destabilizujące mają różny wpływ na stabilność osób z zawrotami głowy w porównaniu z osobami zdrowymi, dalsza analiza wymaga obliczenia wielkości zmiany, czyli różnicy wielkości parametru między wynikiem w badaniu z czynnikiem destabilizującym a wynikiem w stanie swobodnym w każdej grupie osobno. W ten sposób powstały zmienne:  $\Delta_A$ ,  $\Delta_L$ ,  $\Delta_V$ ,  $\Delta_{NW\_X}$  oraz  $\Delta_{NW\_Y}$ .



## V 2. Ocena wielkości zmian parametrów posturograficznych po zastosowaniu prób uczulonych u osób z zawrotami głowy w porównaniu z osobami zdrowymi

Analiza porównawcza międzygrupowa parametrów posturograficznych podczas utrzymywania równowagi w pozycji stojącej swobodnej (podłoże twarde, oczy otwarte), nie wykazała istotnej różnicy między grupami (tab. 4), co pozwoliło na przeprowadzenie dalszych analiz, w których porównano uzyskaną przez badanych zmianę ( $\Delta$ ). Analiza międzygrupowa parametrów A, L, V, NW\_X oraz NW\_Y w badaniu na podłożu twardym przy oczach otwartych (stanie swobodne) wykazała brak różnicy istotnej statystycznie (tab. 3), tym samym udowodniono, zbieżny obraz stabilności ciała osób z zawrotami głowy i osób zdrowych podczas utrzymywania równowagi w swobodnej pozycji stojącej.

Tabela 4. Test U Manna-Whitneya parametrów posturograficznych w badaniu na podłożu twardym przy oczach otwartych między grupami

parametr	U	Z	p
A_1	299,5000	0,2871	0,7740
L_1	258,0000	1,0814	0,2795
V_1	258,0000	1,0814	0,2795
NW_X_1	269,0000	0,8230	0,5580
NW_Y_1	274,5000	0,7656	0,4439

Analiza między grupami z wykorzystaniem testu U Manna-Whitneya wykazała istotne różnice w wielkościach zmian badanych parametrów (tab. 5). Zastosowanie czynników destabilizujących w próbach posturograficznych wpływa w różny sposób na stabilność osób z zawrotami głowy i osób zdrowych (tab. 5).

Tabela 5. Analiza międzygrupowa wielkości zmian badanych parametrów

parametr	U	Z	p
$\Delta$ A_5_1	102,0000	-4,0032	0,0001
$\Delta$ A_6_1	185,0000	-2,4019	0,0163
$\Delta$ L_5_1	128,0000	-3,5016	0,0005
$\Delta$ L_6_1	201,0000	-2,0933	0,0363
$\Delta$ V_5_1	128,0000	-3,5016	0,0005
$\Delta$ V_6_1	194,0000	-2,2283	0,0259
$\Delta$ NW_X_3	190,5000	-2,2958	0,0217

$\Delta NW\_X\_5\_1$	188,5000	-2,3344	0,0196
$\Delta NW\_Y\_5\_1$	194,5000	-2,2187	0,0265

1 oczu otwarte, 3 wzrokowe sprężenie zwrotne, 5 pozycja tandem, 6 sit to stand

W tabeli 6 i 7 przedstawiono statystykę opisową istotnych zmian badanych parametrów u osób z zawrotami głowy i zdrowych. Istotne różnice między wartościami  $\Delta$  parametrów wskazują na zróżnicowany wpływ czynników destabilizujących na sposób utrzymywania równowagi w pozycji stojącej u osób z zawrotami głowy i osób zdrowych.

Tabela 6. Statystyka opisowa wielkości zmian badanych parametrów osób z zawrotami głowy

parametr	N ważnych	średnia	mediana	minimum	maksimum	odch. std
$\Delta A\_5\_1$	21	6637,86	4283,00	1624,00	30697,00	6404,76
$\Delta A\_6\_1$	21	962,90	749,00	133,00	3371,00	743,35
$\Delta L\_5\_1$	21	1228,05	1048,00	445,00	3278,00	669,58
$\Delta L\_6\_1$	21	173,62	166,00	-19,00	475,00	122,02
$\Delta V\_5\_1$	21	38,37	32,74	13,90	102,44	20,93
$\Delta V\_6\_1$	21	5,43	5,19	-0,59	14,85	3,81
$\Delta NW\_X\_3$	21	7,90	8,00	-6,00	25,00	7,75
$\Delta NW\_X\_5\_1$	21	56,90	59,00	22,00	94,00	18,69
$\Delta NW\_Y\_5\_1$	21	66,10	65,00	30,00	130,00	20,83

Tabela 7. Statystyka opisowa wielkości zmian badanych parametrów osób zdrowych

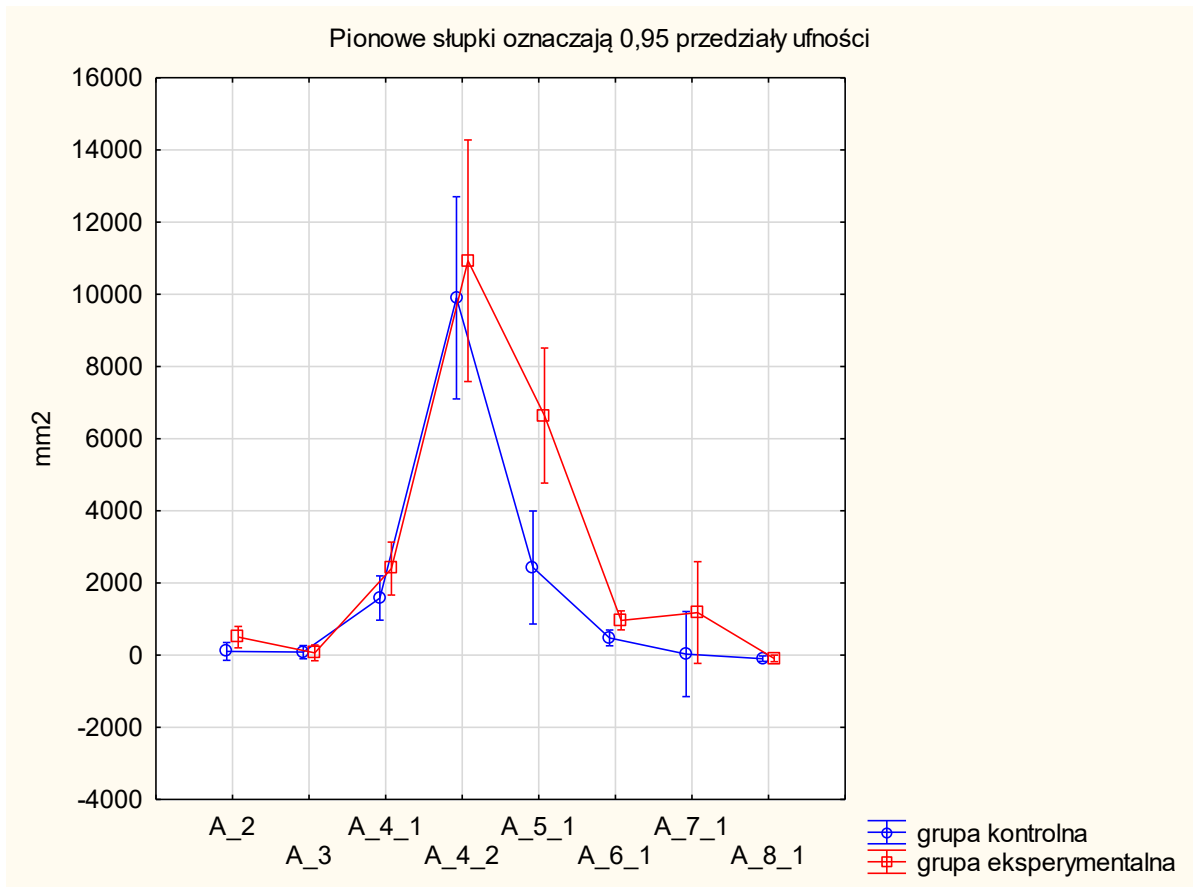
parametr	N ważnych	średnia	mediana	minimum	maksimum	odch. std
$\Delta A\_5\_1$	30	2427,47	1915,50	440,00	6977,00	1580,05
$\Delta A\_6\_1$	30	476,77	382,00	-213,00	1806,00	472,70

$\Delta L_{5_1}$	30	719,13	676,50	342,00	1431,00	267,15
$\Delta L_{6_1}$	30	90,33	99,00	-67,00	304,00	92,31
$\Delta V_{5_1}$	30	22,46	21,14	10,68	44,72	8,36
$\Delta V_{6_1}$	30	2,59	2,69	-2,25	9,50	3,07
$\Delta NW_{X_3_1}$	30	2,13	-1,50	-19,00	31,00	12,31
$\Delta NW_{X_5_1}$	30	43,57	44,00	15,00	75,00	14,17
$\Delta NW_{Y_5_1}$	30	54,47	53,50	25,00	93,00	14,74

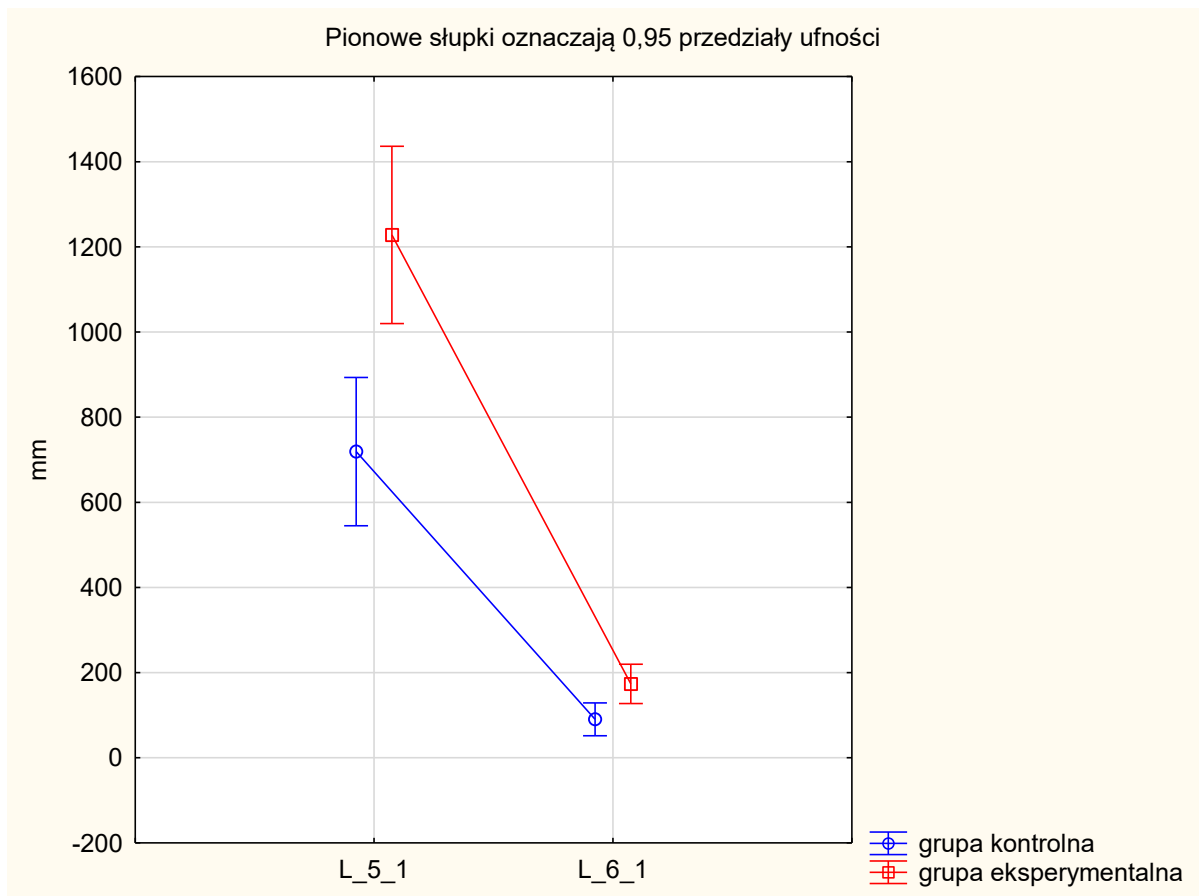
Porównanie zmiany parametru A, w związku z zadziałaniem czynnika destabilizującego przedstawiono na rysunku 7. Istotne różnice między zmianą wielkości parametru pola powierzchni stabilogramu obserwuje się po przyjęciu pozycji tandem oraz w próbie sit to stand.  $\Delta A_{5_1}$  ( $p=0,0001$ ) oraz  $\Delta A_{6_1}$  ( $p=0,0163$ ) jest istotnie większa w grupie eksperymentalnej, co obrazuje niestabilność osób z zawrotami głowy podczas utrzymywania równowagi w pozycji stojącej tandem oraz w próbie sit to stand. Z punktu widzenia diagnostycznego, próba w pozycji tandem oraz sit to stand jest skutecznym badaniem ujawniającym niestabilność badanych osób. W pozostałych próbach zmiana tego parametru jest podobna u osób w GE i GK.

Na rysunku 8, 9 i 10 przedstawiono porównanie wielkości zmiany istotnej statystycznie.

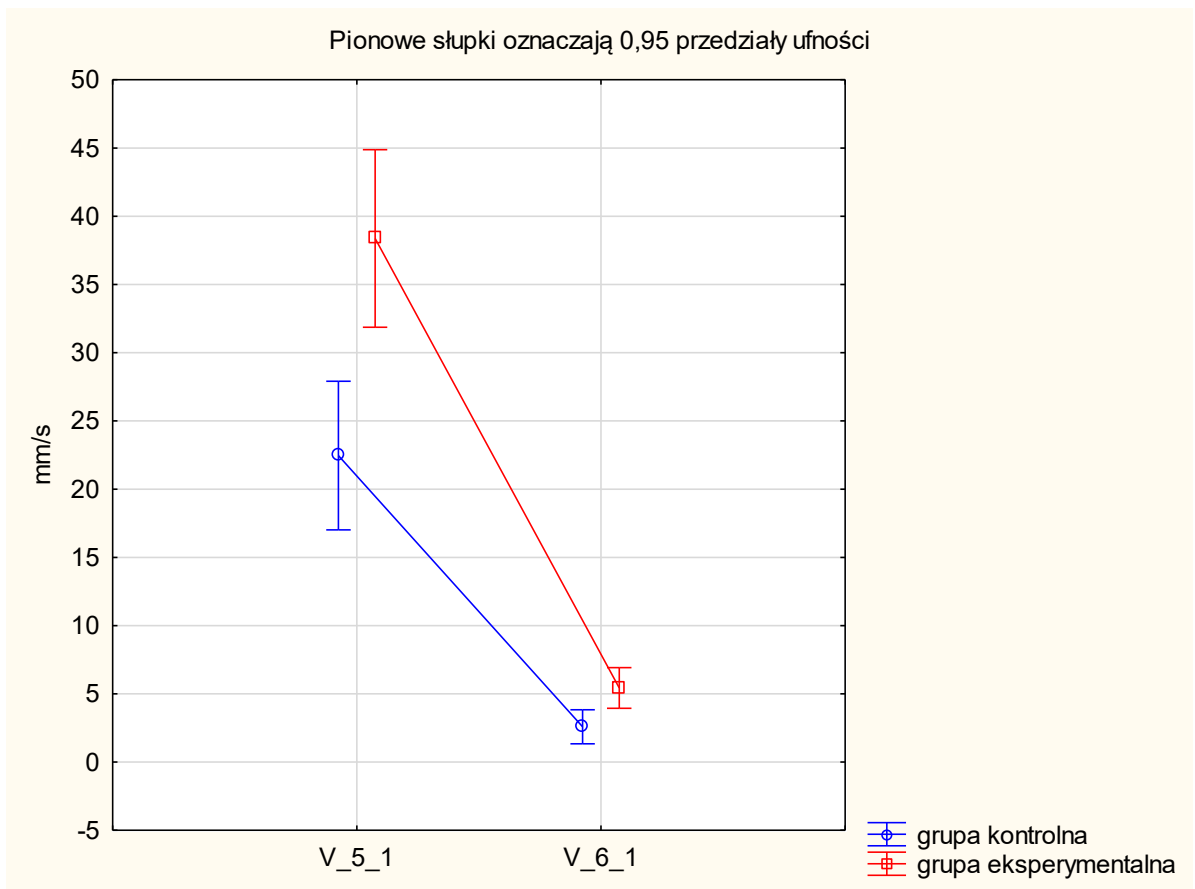
Istotnie większe wartości  $\Delta L_{5_1}$  ( $p=0,0005$ ),  $\Delta L_{6_1}$  ( $p=0,0363$ ),  $\Delta V_{5_1}$  ( $p=0,0005$ ),  $\Delta V_{6_1}$  ( $p=0,0259$ ),  $\Delta NW_{X_5_1}$  ( $p=0,0196$ ),  $\Delta NW_{Y_5_1}$  ( $p=0,0265$ ) uzyskały osoby w grupie eksperymentalnej. Wyniki te potwierdzają, że pozycja tandem oraz próba sit to stand powoduje niestabilność podczas utrzymywania równowagi w pozycji stojącej osób z zawrotami głowy i mogą to być skuteczne próby diagnostyczne (rys. 8-10).



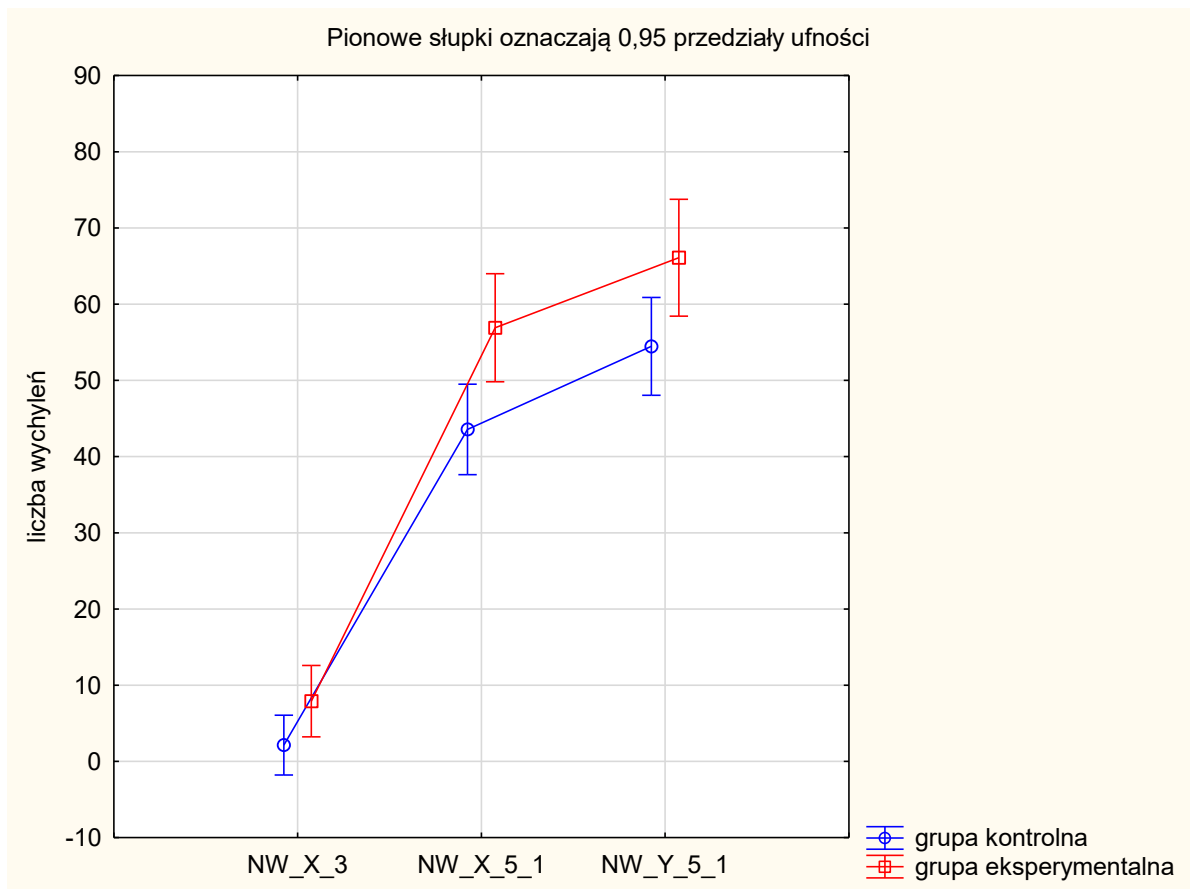
Rysunek 7. Wykres zmian wielkości parametru pola powierzchni stabilogramu po zadziałaniu czynnika destabilizującego



Rysunek 8. Wykres zmian wielkości parametru długości całkowitej stabilogramu po przyjęciu pozycji tandem oraz sit to stand



Rysunek 9. Wykres zmian wielkości parametru średniej prędkości oscylacji COP po przyjęciu pozycji tandem oraz sit to stand



Rysunek 10. Wykres zmian wielkości parametrów ilości wychwian w płaszczyźnie czołowej i strzałkowej po przyjęciu pozycji tandem oraz sit to stand oraz z zastosowaniem wzrokowego sprzężenia zwrotnego

### V 3. Szacowanie zaburzeń równowagi u osób z obwodowymi zawrotami głowy na podstawie wielkości parametrów posturograficznych

Założono, że na podstawie porównania wielkości parametrów posturograficznych u osób z zawrotami głowy, u których stwierdzono zaburzenia równowagi w czynnościach codziennych wg BBS, w porównaniu do osób, które nie wykazują tych zaburzeń, możliwe będzie wyłonienie parametru istotnie charakteryzującego niestabilność, wraz z wyznaczeniem wielkości na podstawie, której uda się oszacowanie zagrożenia zaburzeniami równowagi oraz stopnia/obecności kompensacji przedsionkowej. Niestety,

w związku z małą liczbą osób z zawrotami głowy, nie uzyskano możliwości podziału tych osób na grupę z zaburzeniami równowagi wg BBS i bez tych zaburzeń.

W celu oszacowania zaburzeń równowagi osób z zawrotami głowy w odniesieniu do zdrowej populacji względem wybranych czynników ryzyka, zastosowano regresję logistyczną (Agresti, 2002). Uzyskane w regresji logistycznej statystycznie istotne wyniki przedstawiono w tabeli 8, natomiast interpretacji poddano: wskaźnik kontroli wzrokowej w próbie stania na podłożu miękkim (WKW2) oraz pole powierzchni stabilogramu (A\_5\_1), długość całkowitą stabilogramu (L\_5\_1) i średnią prędkość oscylacji COP (V\_5\_1) w próbie stania w pozycji tandem.

Tabela 8. Regresja logistyczna OR z przedziałami ufności 95% (95% CI)

parametr	OR	prz. 95% ufn.	wartość p
NW_X_1	0,90	(0,83;0,97)	0,010
NW_X_2	0,95	(0,90;0,99)	0,035
K_3	0,96	(0,93;0,99)	0,027
WKW2	0,90	(0,85;0,96)	0,002
A_5_1	1,0007	(1,0003;1,0012)	0,002
L_5_1	1,0031	(1,0009;1,0052)	0,005
V_5_1	1,10	(1,03;1,18)	0,005
A_6_1	1,0012	(1,0002;1,0022)	0,017
NW_X_7_1	0,95	(0,90;0,99)	0,048
NW_X_8_1	0,93	(0,88;0,99)	0,023

Wyniki w regresji logistycznej (tab. 8), pozwalają stwierdzić, że przyrost wskaźnika kontroli wzrokowej (WKW2) o 1 jednostkę w sposób statystycznie istotny ( $p < 0,05$ ) przeciętnie obniża prawdopodobieństwo wystąpienia zaburzeń równowagi u osób z obwodowymi zawrotami głowy o  $(1-0,9) \cdot 100\% = 10\%$ . Z kolei wzrost poziomu czynnika ryzyka o 10 jednostek wpływa na redukcję szansy wystąpienia zdarzenia aż o  $(1-0,9^{10}) \cdot 100\% = 65\%$ , czyli o ok. dwie trzecie.

Wzrost wartości pola powierzchni stabilogramu (parametr A\_5\_1) przeciętnie o 100 jednostek wpływa na zwiększenie szansy wystąpienia zaburzeń równowagi o  $(1,0007^{100} - 1) \cdot 100\% = 7\%$ , czyli o około jedną czternastą.



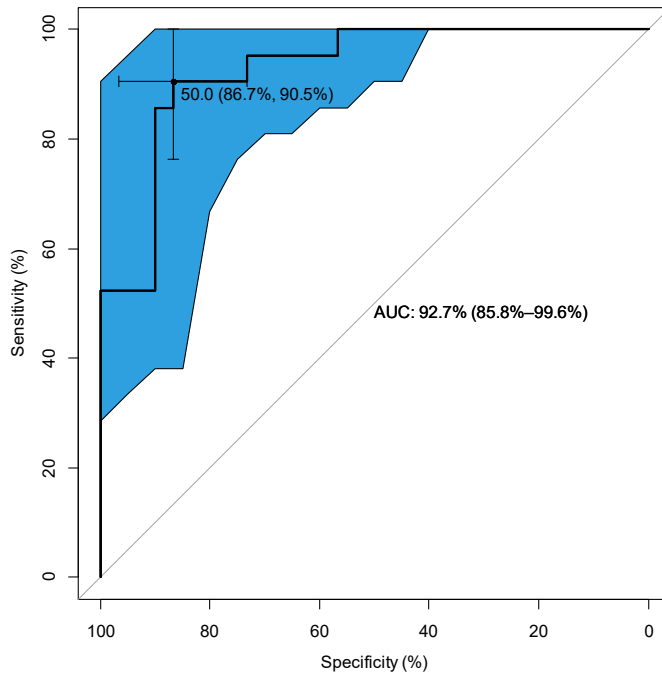
Gdy natomiast wartość długości całkowitej stabilogramu (parametr L\_5\_1) wzrośnie o 100 jednostek, wówczas szansa na wystąpienie zaburzeń równowagi wzrośnie o  $(1,0031^{100}-1)*100\%=36\%$ , czyli o około jedną trzecią.

Wzrost wartości średniej prędkości oscylacji COP (parametr V\_5\_1) o przeciętnie 10 jednostek zwiększa szansę wystąpienia zawrotów głowy o  $(1,10^{10}=2,59)$ , czyli ponad dwuipółkrotnie.

Do oceny jakości klasyfikatora i poszukiwania optymalnego punktu odcięcia posłużono się krzywą jakości klasyfikatora ROC. Krzywe ROC wraz z podstawowymi wielkościami statystycznymi (DeLong i wsp. 1988) dla statystycznie istotnych klasyfikatorów i odpowiadających im zdarzeń, tj.: WKW2; A\_5\_1; L\_5\_1; V\_5\_1, przedstawiono w tabeli 8 i na rysunkach 11, 12, 13, 14.

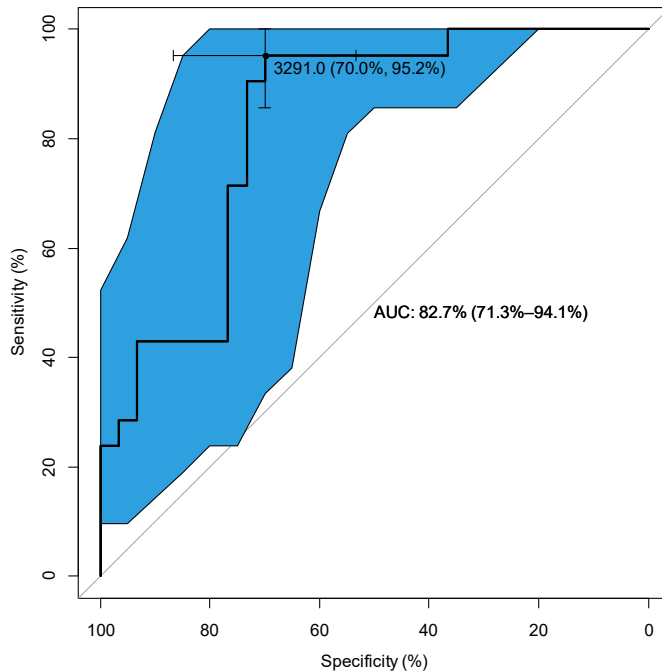
Tabela 9. Wartości krzywych ROC poszczególnych parametrów

parametr	punkt równowagi	czułość	swoistość	npv	ppv
NW_X_1	26	71	70	78	63
NW_X_2	34	86	57	85	58
K_3	42	48	87	70	71
WKW2	50	90	87	93	83
A_5_1	3291	95	70	95	69
L_5_1	1272	86	77	88	72
V_5_1	40	86	77	88	72
A_6_1	881	86	57	85	58
NW_X_7_1	36	86	47	82	53
NW_X_8_1	23	76	67	80	62



Rysunek 11. Krzywa ROC wskaźnika WKW2

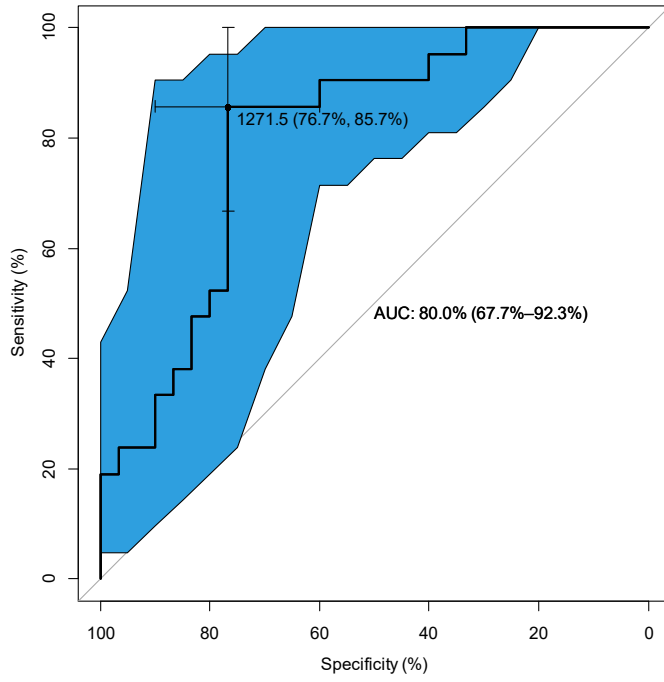
Na podstawie analizy krzywej ROC (rys. 11, tab. 9), za wartość progową najlepiej różnicującą wystąpienie zaburzeń równowagi od ich braku, można przyjąć wartość wskaźnika kontroli wzrokowej =50% (WKW2). Dla niniejszego testu klinicznego wartość ta zapewniała 86,7% czułość i 90,5% swoistość, zaś pole pod wykresem krzywej ROC, oznaczane jako AUC wyniosło 92,7% (dla przedziału 95%-owej ufności = 85,8%–99,6%). Co w rezultacie badawczym oznacza, iż w przybliżeniu 20 na 21 osób z obwodowymi zawrotami głowy ma mniejszą szansę wystąpienia zaburzeń równowagi.



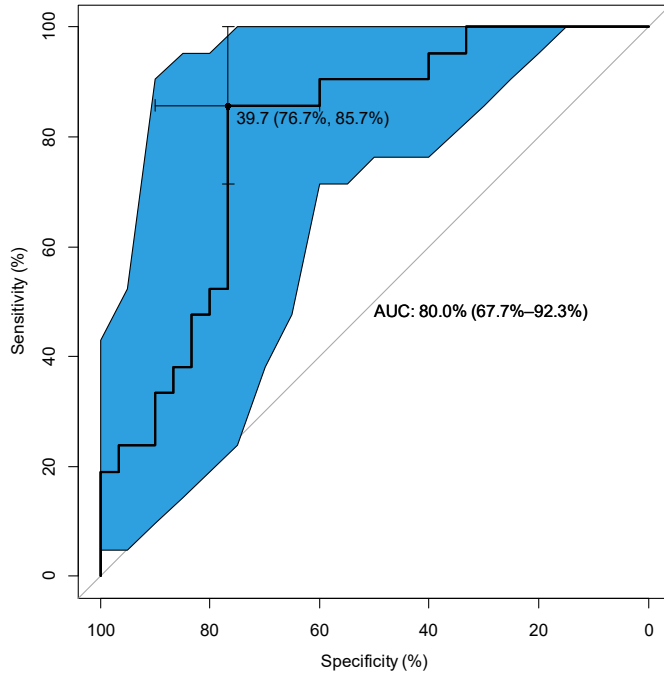
Rysunek 12. Krzywa ROC parametru A\_5\_1

Z kolei wg analizy krzywej ROC wartością progową pola powierzchni stabilogramu (A\_5\_1), najlepiej różnicującą wystąpienie zaburzeń równowagi jest wartość 3291mm<sup>2</sup> (rys. 12, tab. 9). W teście klinicznym wartość ta zapewniała 70,0% czułość i 95,2% swoistość. Pole pod wykresem krzywej ROC (AUC) wyniosło 82,7% (dla przedziału 95%-owej ufności = 71,3%–94,1%), co oznacza iż u 17 na 21 osób badanych z obwodowymi zawrotami głowy zagrożone jest ryzykiem wystąpienia zaburzeń równowagi.

Analiza krzywej ROC wykazała, że wartość progowa długości całkowitej stabilogramu (L\_5\_1), istotnie szacująca ryzyko zaburzeń równowagi to 1272mm (rys. 13, tab. 9), przy zapewnionej w teście klinicznym 76,7% czułości i 85,7% swoistości. Uzyskane pole pod wykresem krzywej ROC (AUC) w wysokości 80,0% (dla przedziału 95%-owej ufności = 67,7%–92,3%), daje ogólny rezultat badawczy, w którym w przybliżeniu 17 na 21 osób z zawrotami głowy, można właściwie sklasyfikowanych do grupy pacjentów z ryzykiem wystąpienia zaburzeń równowagi.



Rysunek 13. Analiza ROC parametru L\_5\_1



Rysunek 14. Krzywa ROC parametru V\_5\_1

Na rycinie 14 przedstawiono analizę krzywej ROC, gdzie za wartość progową najlepiej różnicującą wystąpienie zaburzeń równowagi od ich braku można przyjąć średnią prędkość oscylacji COP (V\_5\_1) o wartości 40mm/s. W teście klinicznym wartość ta zapewnia 76,7% czułość i 85,7% swoistość. Natomiast pole pod wykresem krzywej ROC (AUC) wyniosło 80,0% (dla przedziału 95%-owej ufności = 67,7%–92,3%), (tab. 9). Oznacza to, że w ogólnym rezultacie badawczym, w przybliżeniu 17 na 21 osób z zawrotami głowy mogłoby być właściwie sklasyfikowanych do grupy pacjentów z ryzykiem wystąpienia zaburzeń równowagi.

## VI. Dyskusja

Zawroty głowy są częstszym schorzeniem otoneurologicznym. Przegląd literatury jednoznacznie wskazuje, że szczególnie narażoną na zawroty głowy grupą, są osoby po 65 roku życia. Nie oznacza to jednak, że problem ten omija osoby młodsze. Należy podkreślić fakt, że z problemem zawrotów głowy częściej zmagają się kobiety, co potwierdzają dane w literaturze (Neuhauser i wsp. 2005) oraz wyniki badań własnych, które wskazują na większy odsetek kobiet niż mężczyzn (69%:31%).

Istotnym i bardzo częstym zjawiskiem w zawrotach głowy jest ich bagatelizowanie głównie przez pacjentów. Co potwierdza wynik wywiadu podczas, którego często padały stwierdzenia: „tylko mi się kręci w głowie”, „zaraz przejdzie”, „to przez pogodę”. Takie podejście znacząco wydłuża czas diagnozowania i rozpoczęcia leczenia.

Równie ważna, co diagnostyka medyczna, np. z wykorzystaniem aparatury do VNG (videonystagmografia), jest diagnostyka fizjoterapeutyczna, która obok testów klinicznych i funkcjonalnych, wykorzystuje badanie stabilności na platformie posturograficznej (Szostek-Rogula i Zamysłowska-Szmytke, 2015).

Na potrzeby niniejszej pracy, stabilność ciała osób z zwrotami głowy oceniono na statycznej platformie posturograficznej firmy PRO-MED, wykonując próby standardowe i próby uczulone, tj.: na twardym/miękkim podłożu, przy oczach otwartych/zamkniętych, ze zmianą pozycji z siedzenia do stania, z wykorzystaniem zadania mentalnego, w pozycji tandem, ze stymulacją optokinetyczną i podczas zadania dynamicznego. Przegląd literatury w zakresie wykorzystania prób uczulonych, wykazuje bardzo częste stosowanie takich prób na platformie posturograficznej.

W badaniach Zamysłowskiej-Szmytke i wsp. (2018), zbadano na platformie posturograficznej 131 osób, stosując próby uczulone, tj.: stanie przy oczach otwartych na twardym i miękkim podłożu. Best i wsp. (2015) w badaniach 45 osób, zastosowali twarde i miękkie podłoże, zgięcie głowy do 45 stopni w płaszczyźnie bocznej oraz stanie w pozycji tandem. Stymulację optokinetyczną, w celu wywołania oczopląsu podczas badania posturograficznego zastosował Van Ombergen i wsp. (2016).

Honaker i wsp. (2016) w badaniu 15 osób wykorzystali do oceny stanu funkcjonalnego test SOT w wersji zmodyfikowanej, dodając ruchy głową w płaszczyźnie

horyzontalnej. Natomiast próbę dynamiczną (jak w badaniach własnych) wykonali Torre i wsp. (2020), prowadząc badania na platformie posturograficznej u 34 zdrowych osób.

Przegląd literatury oraz doświadczenia własne pokazują, że dzięki wykorzystaniu prób uczulonych można ocenić udział zmysłów podczas utrzymywania równowagi w pozycji stojącej na twardym podłożu przy oczach zamkniętych, na miękkim podłożu przy oczach otwartych i zamkniętych, w próbie stania w pozycji tandem, z wykorzystaniem próby dynamicznej oraz określić wpływ różnych czynników na sposób utrzymywania równowagi w pozycji stojącej w tym wykazać niestabilność.

W badaniach własnych analizie statystycznej poddano parametry, które zostały zmierzone podczas każdej z prób na platformie posturograficznej: pole powierzchni stabilogramu (A), długość ścieżki stabilogramu (L), średnia prędkość oscylacji COP (V), liczba wychyleń w płaszczyźnie czołowej (NW\_X) oraz liczba wychyleń w płaszczyźnie strzałkowej (NW\_Y). Wybór analizowanych parametrów został dokonany na podstawie przeglądu literatury.

Karlon i wsp. (2016) przeprowadzili badania z wykorzystaniem statycznej platformy posturograficznej w grupie osób ze stwardnieniem rozsianym. Zmierzyli i poddali analizie następujące parametry: pole powierzchni stabilogramu, długość ścieżki stabilogramu i średnią prędkość oscylacji COP. Wnioski wskazują na zmiany w parametrach posturograficznych w czasie trwania choroby. Znaczny wzrost parametrów posturograficznych następuje po przekroczeniu 3 punktów wg skali niewydolności ruchowej EDSS (ang. Expanded Disability Status Scale).

Casani i wsp. (2019) wykonali badania na statycznej platformie posturograficznej u 290 osób z zawrotami głowy i przeanalizowali długość ścieżki stabilogramu i pole powierzchni stabilogramu. Na podstawie analizowanych parametrów posturograficznych stwierdzono, poprawę stabilności po leczeniu związkiem polifenolowym.

Torre i wsp. (2020) na podstawie badania posturograficznego oceniali: pole powierzchni stabilogramu, długość ścieżki stabilogramu, średnią prędkość oscylacji COP, liczbę wychyleń w płaszczyźnie czołowej oraz strzałkowej. Ciekawą analizę przeprowadzili Liu i wsp. (2021), którzy ocenili stosunek długości ścieżki COP do pola powierzchni stabilogramu. Autorzy wnioskują, że posturografia statyczna może być dokładną i obiektywną metodą oceny równowagi u starszych pacjentów z WMH (ang.

white matter hyperintensities). Inojosa i wsp. (2020) w swoich badaniach analizowali pole powierzchni stabilogramu, długość ścieżki stabilogramu oraz średnią prędkość oscylacji. Autorzy stwierdzają, że posturografia statyczna może uzupełnić neurologiczną ocenę EDSS jako obiektywny i ilościowy test, szczególnie osób ze stwardnieniem rozsianym we wczesnych stadiach choroby.

Metaanaliza 8 prac wykonana przez Reutimann i wsp. (2022) wykazała, że najczęściej w badaniu posturograficznym oceniane są następujące parametry: prędkość oscylacji COP, liczba wychyleń w płaszczyźnie czołowej oraz liczba wychyleń w płaszczyźnie strzałkowej, długość ścieżki stabilogramu, pole powierzchni stabilogramu. Na podstawie metaanalizy autorzy wnioskują, że posturografia statyczna daje niejednorodne wyniki.

W badaniach własnych po przeprowadzeniu analizy statystycznej wewnątrz grupy eksperymentalnej, w której porównano parametry posturograficzne w próbie stania na twardym podłożu przy oczach otwartych z każdą próbą uczuloną, uzyskano istotnie statyczne różnice, świadczące o wpływie wielu czynników destabilizujących na sposób utrzymywania równowagi w pozycji stojącej zobrazowany wielkością parametrów stabilograficznych. Istotny wpływ na obraz stabilności miały następujące czynniki: zamknięte oczy, zastosowanie wzrokowego sprzężenia zwrotnego, podłoże miękkie przy oczach otwartych i oczach zamkniętych, pozycja tandem i próba sit to stand. Nie wykazano istotnego wpływu zadania mentalnego oraz stymulacji optokinetycznej na sposób utrzymywania równowagi w pozycji stojącej. Analizowane parametry, tj.: pole powierzchni stabilogramu, długość ścieżki stabilogramu, średnia prędkość oscylacji COP, liczba wychyleń w płaszczyźnie czołowej oraz liczba wychyleń w płaszczyźnie strzałkowej były istotnie większe w próbach uczulonych, co oznacza, że zastosowany czynnik destabilizacyjny ma istotny wpływ na sposób utrzymywania równowagi w pozycji stojącej i obrazuje zmianę stabilności ciała, czy nawet wykazuje niestabilność. Podobne wyniki zaobserwowano u osób zdrowych. Jednak, dokładna analiza zmiany wartości parametrów pod wpływem czynników destabilizujących wykazała istotne różnice w sposobie utrzymywania równowagi przez osoby z zawrotami głowy i osoby zdrowe. Wykazano, że najsilniejszym czynnikiem destabilizującym osoby z zawrotami głowy jest pozycja tandem, gdzie podczas utrzymywania równowagi w tej pozycji, obserwuje się



zaburzenia stabilności ciała. Świadczą o tym uzyskane wysokie wartości ocenianych parametrów, istotnie większe, jak u osób zdrowych. Utrzymywanie równowagi w pozycji tandem w porównaniu ze stanem swobodnym, wiązało się z kilkukrotnym wzrostem wartości analizowanych parametrów. Np. pole powierzchni stabilogramu w próbie tandem u osób z zawrotami głowy charakteryzuje się trzykrotnym wzrostem w porównaniu z osobami zdrowymi.

W badaniach Torre i wsp. (2020) wykazano wzrost wartości mierzonych parametrów w próbach uczulonych, co świadczy o pogorszonej stabilności w próbach uczulonych. Badania własne potwierdzają ten wniosek.

Potwierdzeniem wyników badań własnych, jest praca Casani i wsp. (2019). Autorzy wykonali badania stabilności u 258 osób z zawrotami głowy (127 osób objętych leczeniem i 131 osób bez leczenia), na platformie posturograficznej z wykorzystaniem prób uczulonych w postaci stania na twardym podłożu przy oczach zamkniętych, stania na miękkim podłożu przy oczach otwartych i zamkniętych. Wartości zmierzonych parametrów w próbach uczulonych były większe w porównaniu do próby stania na twardym podłożu przy oczach otwartych, co potwierdza skuteczność czynników destabilizacyjnych.

Karlon i wsp. (2016) zbadali 464 pacjentów ze stwardnieniem rozsianym podczas stania na twardym podłożu przy oczach otwartych i oczach zamkniętych. Wykazano, że zamknięcie oczu zwiększa wartości zmierzonych parametrów, co świadczy o istotnym wpływie tego czynnika na stabilność postawy ciała.

Koc i Akkılıc (2021) przeprowadzili badania u 60 osób (30 osób z migreną przedsionkową i 30 osób zdrowych). Do oceny stanu funkcjonalnego zastosowano Sensory Organization Test. Autorzy wnioskują, że próby uczulone są istotnym czynnikiem destabilizującym.

Sensory Organization Test zastosował również Nam i wsp. (2018), badając 36 osób z zawrotami głowy. Autorzy wykazali istotny wpływ czynników destabilizujących na stabilność osób z zawrotami głowy. Wyniki badań własnych potwierdzają wnioski oraz Koc i Akkılıc (2021) oraz Nam i wsp. (2018).

W badaniach własnych przeprowadzono porównanie wyników badań posturograficznych między osobami z zawrotami głowy a osobami zdrowymi.

Analizowano wielkości zmian badanych parametrów. Istotne różnice uzyskano w większości parametrów, tj.:  $\Delta$  pola powierzchni w próbie stania w pozycji tandem,  $\Delta$  pola powierzchni w próbie sit to stand,  $\Delta$  długości ścieżki w próbie tandem,  $\Delta$  długości ścieżki w próbie sit to stand,  $\Delta$  średniej prędkości w próbie tandem,  $\Delta$  średniej prędkości w próbie sit to stand,  $\Delta$  liczby wychyleń w płaszczyźnie czołowej w próbie ze sprzężeniem zwrotnym,  $\Delta$  liczby wychyleń w płaszczyźnie czołowej w pozycji tandem,  $\Delta$  liczby wychyleń w płaszczyźnie strzałkowej w próbie sit to stand. Wynik ten świadczy o różnym sposobie utrzymywania równowagi pod wpływem czynników destabilizujących przez osoby z zawrotami głowy i osoby zdrowe. Jednocześnie wykazano zaburzenie stabilności osób z zawrotami głowy podczas utrzymywania równowagi w pozycji stojącej w konkretnych warunkach.

Wyniki badań własnych warto odnieść do pracy Quitschal'a i wsp. (2014), którzy zbadali 57 osób (25 z zawrotami głowy pochodzenia przedsionkowego i 32 zdrowe osoby), wykonując następujące próby: oczy otwarte i zamknięte oczy, podłoże twarde i miękkie oraz różne ustawienie głowy przy oczach zamkniętych. Analizowano indeks stabilności, rozkład masy ciała, częstotliwość wychyleń oraz wskaźnik synchronizacji. Wszystkie parametry były istotnie różne u osób z zawrotami głowy i u osób zdrowych. Osoby z zawrotami głowy uzyskały wyższe wartości ocenianych parametrów, co świadczy o zaburzeniach stabilności w porównaniu do osób zdrowych. Zastosowane próby okazały się czynnikiem destabilizującym.

Lacour i wsp. (2021) zbadali na platformie posturograficznej statycznej i dynamicznej 69 osób z uszkodzonym narządem przedsionkowym i zawrotami głowy oraz grupę kontrolną - 225 zdrowych osób. Autorzy zastosowali próby uczulone: nieruchome podłoże, oczy otwarte/zamknięte i stymulacja optokinetyczna; ruchome podłoże, oczy otwarte/zamknięte i stymulacja optokinetyczna. Analizowano dwa wskaźniki: SPD (ang. spectral power density) i PII (ang. postural instability index). Oba wskaźniki istotnie różniły się między grupami, gdzie osoby z zawrotami głowy uzyskali wyższe wartości, co świadczy o zaburzeniu stabilności postawy. Van Ombergen i wsp. (2016) porównali stabilność 9 osób z zawrotami głowy i 9 zdrowych osób. Pomiar długość ścieżki stabilogramu

w próbach na twardym podłożu przy oczach otwartych, zamkniętych i z wykorzystaniem stymulacji optokinetycznej, wykazał pogorszoną stabilność osób z zawrotami głowy.

Badanie posturograficzne na statycznej platformie na twardym i miękkim podłożu przy oczach otwartych i zamkniętych wykonał u 40 osób z zawrotami głowy i 26 osób zdrowych Fedorowicz i wsp. (2018). Autorzy analizowali: indeks stabilności w płaszczyźnie strzałkowej, indeks stabilności w płaszczyźnie bocznej i ogólny wskaźnik stabilności. Zaobserwowano różnice w wynikach badanych parametrów, w postaci wyższych wartości parametrów osób z zawrotami głowy. Autorzy wnioskują, że stabilność osób z zawrotami głowy jest gorsza niż osób zdrowych, a zastosowane czynniki destabilizujące są skuteczne w wykazaniu niestabilności.

Na podstawie wyników własnych można stwierdzić, że osoby z uszkodzonym narządem przedsionkowym z zawrotami głowy mają gorszą stabilność w porównaniu do osób zdrowych podczas utrzymywania równowagi w pozycji stojącej w próbach uczulonych. Tym samym wykazano, że czynniki destabilizujące znacząco pogarszają stabilność osób z zawrotami głowy i w konsekwencji mogą prowadzić do upadku (Cao i wsp. 2021). Jednocześnie wykazano, że osoby z zawrotami głowy pochodzenia obwodowego charakteryzują się niezaburzoną stabilnością podczas utrzymywania równowagi w stanie swobodnym (podłoże twarde, oczy otwarte). Taki wynik, pokazuje jaką dużą wartość diagnostyczną w ocenie stabilności postawy osób z zawrotami głowy ma próba uczulona, a szczególnie pozycja tandem.

Ochrona przed upadkiem pacjenta z zawrotami głowy jest kluczowa a ocena ryzyka zaburzeń równowagi z konsekwencją upadku jest możliwa przez szacowanie zaburzeń równowagi na podstawie parametrów posturograficznych.

Wyniki badań własnych jednoznacznie pokazały, że jest możliwe szacowanie zaburzeń równowagi na podstawie badania posturograficznego w próbie tandem. Na podstawie tych parametrów możliwe jest szacowanie zaburzeń równowagi u osób z obwodowymi zawrotami głowy.

Tuunainen i wsp. (2014) na podstawie przeprowadzonych badań u 67 osób z wykorzystaniem statycznej platformy posturograficznej i stworzonego wzoru potwierdzili wyniki badań własnych. Na platformie posturograficznej przeprowadzono próby stania na twardym podłożu przy oczach otwartych i zamkniętych. Iloraz szans dla

wskaźników wyniósł 1,8; co dało możliwość szacowania niestabilności. Jednak, nie wykazano, czułości i swoistości tych wskaźników w szacowaniu problemu.

Szacowanie ryzyka upadku przedstawił Hansson i Magnusson (2013) na podstawie badania na platformie posturograficznej u 55 osób z uszkodzeniem narządu przedsionkowego. Autorzy analizowali prędkość COP w płaszczyźnie strzałkowej i czołowej i średnią prędkość wychyleń, na podstawie wyników próby na twardym podłożu przy otwartych i zamkniętych oczach. Autorzy uzyskali w próbie przy oczach otartych dla parametru średniej prędkości w płaszczyźnie bocznej  $OR=1,22$ ; dla średniej prędkości w płaszczyźnie strzałkowej  $OR=0,75$ ; dla średniej prędkości wychyleń  $OR=0,82$ . Natomiast w próbie przy oczach zamkniętych, dla parametru średniej prędkości w płaszczyźnie bocznej  $OR=0,61$ ; dla średniej prędkości w płaszczyźnie strzałkowej  $OR=0,55$ ; dla średniej prędkości wychyleń  $OR=1,18$ . Wyniki te wskazują, że ryzyko upadku zmniejsza się od jednej drugiej do trzech czwartych lub zwiększa się 5-7 razy w zależności od zmierzonego parametru, przy założeniu, że wartości mierzonych parametrów wzrosną o 10 jednostek. Badania własne potwierdzają, możliwość szacowania wystąpienia zaburzeń równowagi na podstawie trzech parametrów z próby w pozycji tandem (A, L, V) oraz na podstawie WKW z próby stania na podłożu miękkim. Dodatkowo wykazano, że te parametry charakteryzują się wysoką czułością i wysoką swoistością.

Zur i wsp. (2017) wykonali badania Zur Balance Scale u 315 osób i dla uzyskanego wyniku wyznaczyli iloraz szans (OR) w zależności od ilości upadków, w przeszłości. Szacowanie zagrożenia upadkami na podstawie Zur Balance Scale było zależne od wyniku oceny funkcjonalnej w połączeniu z ilością upadków w przeszłości. Taką próbę szacowania ryzyka upadków przeprowadził również Dennis i wsp. (2018) na podstawie wyniku BBS. Zbadano 123 osoby i wyznaczono OR, który wykazał możliwość szacowania ryzyka upadku.

Przegląd badań w temacie szacowania zaburzeń równowagi i ryzyka upadków, wskazuje na ważność i celowość przeprowadzonego eksperymentu, którego wyniki powinny być wykorzystywane przez fizjoterapeutów prowadzących rehabilitację osób z zawrotami głowy.

## **VI 1. Podsumowanie i ograniczenia**

Temat pracy, który został podjęty w autorskich badaniach miał na celu ocenę stabilności strukturalnej osób z zawrotami głowy pochodzenia obwodowego podczas utrzymywania równowagi w swobodnej pozycji stojącej oraz w próbach uczulonych. Aplikacyjna wartość pracy jest związana z uzyskanymi wynikami. Wartości zbadanych parametrów podczas badania na statycznej platformie posturograficznej są istotnie różne między grupą osób z zawrotami głowy a grupą osób zdrowych. Wartości parametrów posturograficznych osób z zawrotami głowy są wyższe w porównaniu do osób zdrowych, co świadczy o gorszej stabilności osób z zawrotami głowy oraz o wpływie czynników destabilizacyjnych w próbach uczulonych na sposób utrzymywania równowagi w pozycji stojącej.

Badania własne wykazały celowość wykonania diagnostyki posturograficznej w warunkach stania na podłożu twardym w pozycji tandem. Udowodniono, że wartość pola powierzchni stabilogramu i długość całkowita stabilogramu oraz średnia prędkość oscylacji COP są parametrami czułymi, dzięki którym jest możliwość szacowania zagrożenia zaburzenia/utruty równowagi u osób z zawrotami głowy pochodzenia obwodowego.

W badaniach własnych jedną z prób uczulonych była próba z wykorzystaniem stymulacji optokinetycznej. Celem stymulacji optokinetycznej jest wywołanie oczopląsu przez szybko przesuwany się obraz przed oczami osoby badanej. Niestety nie wykazano wpływu stymulacji optokinetycznej u osób z zawrotami głowy na zmianę/pogorszenie stabilności badanych. Przewidywanym powodem jest zastosowany obraz przesuujących się pionowych pasów, który był wyświetlany w goglach, które stosowała osoba badana. W eksperymencie zastosowano obraz, pionowych biało-czarnych pasów, z czasem 2,24s przejścia obiektu przez pole widzenia. Obraz ten mógł nie wywołać stymulacji optokinetycznej. Próbę jednak wykonano, ponieważ nie posiadano innego narzędzia do prowokowania zawrotu głowy w stymulacji optokinetycznej.

Szacowanie statystyczne jest istotne u osób z zawrotami głowy, ponieważ utrata równowagi może doprowadzić do upadku, który może zakończyć się nawet śmiercią z powodu powikłań (Cao i wsp., 2021).

Zawroty głowy i zaburzenia równowagi to jeden z najtrudniejszych problemów medycznych, w którym dokładna diagnostyka odgrywa kluczową rolę w ocenie stanu pacjenta, wyznaczeniu planu rehabilitacji i prewencji upadków.

Wyniki badań własnych mają dużą wartość aplikacyjną, uzupełniają diagnostykę kliniczną opartą o próby kaloryczne, próby obrotowe, badanie VNG. Z punktu widzenia fizjoterapeuty dostęp do metod diagnostycznych dostosowanych w fizjoterapii jest nieoceniony i pozwala na indywidualizację terapii.

Skuteczne metody diagnostyczne skracają czas oczekiwania na terapię oraz przyspieszają uzyskanie efektu. Zaletą posturografii, jako metody diagnostycznej w uszkodzeniu narządu przedsionkowego i zawrotach głowy jest fakt, że badanie może przeprowadzić fizjoterapeuta, a pacjent nie wymaga specjalnego przygotowania przed badaniem. Połączenie diagnostyki posturograficznej z diagnostyką funkcjonalną, np. Berg Balance Scale, Zur Balance Scale, pozwala na uzyskanie jeszcze dokładniejszej oceny stanu pacjenta, określeniu jego potrzeb i zaplanowaniu skutecznej terapii.

Ograniczenia pracy dotyczą głównie liczby osób z uszkodzeniem narządu przedsionkowego i zawrotami głowy. W okresie prowadzenia badań wybuchła pandemia COVID-19, która ograniczyła możliwość wykonania badań, co znacząco utrudniło przeprowadzenie założonego eksperymentu. Na pewno był to poważny powód, braku realizacji celu dotyczącego analizy i oceny wielkości parametrów posturograficznych uzyskanych z rejestracji oscylacji COP u osób z zawrotami głowy, u których stwierdzono zaburzenia równowagi w czynnościach codziennych, w porównaniu do osób, które nie wykazują zaburzeń równowagi na podstawie BBS. Zbyt mała liczba pacjentów z zawrotami głowy, nie pozwoliła na rzetelną analizę zaplanowanego szacowania kompensacji przedsionkowej na podstawie wskaźników WKW i WKWR.

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 16 października 2020 roku, pozycja 1835, od dnia 19 października 2020 roku, został ograniczony dostęp do badań w Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu. Na podstawie Zarządzenia Rektora 10/2022 z 26 stycznia 2022 roku, przywrócono możliwość prowadzenia badań na terenie Akademii z dniem 28 lutego 2022 roku. Opisana sytuacja bardzo ograniczyła prowadzenie eksperymentu i realizację rozprawy doktorskiej.

Wyniki przeprowadzonych badań, a także przegląd literatury wskazują na konieczność kontynuacji badań, szczególnie w zakresie szacowania kompensacji przedSIONkowej.

## VII WNIOSKI

1. Osoby z zawrotami głowy pochodzenia obwodowego charakteryzują się niezaburzoną stabilnością podczas utrzymywania równowagi w stanie swobodnym (podłoże twarde, oczy otwarte).
2. Czynniki destabilizujące i prowokujące zawrót głowy wpływają istotnie na sposób utrzymywania równowagi w pozycji stojącej przez osoby z zawrotami głowy pochodzenia obwodowego.
3. Przekierowanie uwagi na zadanie mentalne podczas utrzymywania równowagi w pozycji stojącej (test Stroopa), nie wykazuje pogorszenia stabilności osób z zawrotami głowy, co może świadczyć o niezaburzonej stabilności podczas utrzymywania równowagi w pozycji stojącej na podłożu twardym (stanie swobodne).
4. Najsilniejszym czynnikiem destabilizującym osoby z zawrotami głowy jest pozycja tandem, gdzie podczas utrzymywania równowagi w tej pozycji, obserwuje się zaburzenia stabilności ciała.
5. Na podstawie badania posturograficznego jest możliwość szacowania zaburzeń równowagi u osób z zawrotami głowy.
6. Czułym parametrem, który istotnie charakteryzującego niestabilność osób z zawrotami głowy jest pole powierzchni stabliogramu (A) oraz całkowita długość stabilogramu (L), a także średnia prędkość oscylacji COP podczas utrzymywania równowagi w pozycji tandem z oczami otwartymi.
7. Na podstawie wielkości pola powierzchni stabliogramu (A) oraz całkowitej długości stabilogramu (L), a także średniej prędkości oscylacji COP podczas utrzymywania równowagi w pozycji tandem z oczami otwartymi jest możliwość szacowania wzrostu ryzyka zaburzeń równowagi u osób z zawrotami głowy.
8. Wskaźnik koordynacji wzrokowej może być czułym parametrem określającym kompensację wzrokową (WKW) osób z zawrotami głowy, podczas utrzymywania równowagi w pozycji stojącej na podłożu miękkim.



## VIII PIŚMIENICTWO

1. Adelsberger R, Valko Y, Straumann D, Troester G. Automated romberg testing in patients with benign paroxysmal positional vertigo and healthy subjects. *IEEE Transactions on Bio-Medical Engineering* 2015, 62(1): 373-381.
2. Agrawal Y, Carey JP, Hoffman HJ, Sklare DA, Schubert MC. The modified Romberg balance test: normative data in US adults. *Otol Neurotol.* 2011, 32(8): 1309-1311.
3. Agresti A. *Alternative Modeling of Binary Response Data.* W: Agresti A. (red), *Categorical data analysis.* Wiley, New York, 2002, pp. 267–313.
4. Best Ch, Tschan R, Stieber N, Beutel M, Eckhardt-Henn A, Dieterich M. STEADFAST: Psychotherapeutic Intervention Improves Postural Strategy of Somatoform Vertigo and Dizziness. *Behavioural Neurology* 2015: 1-10.
5. Błaszczyk W. *Biomechanika postawy stojącej.* W: Błaszczyk W. (red), *Biomechanika kliniczna podręcznik dla studentów medycyny i fizjoterapii.* PZWL, Warszawa, 2004, ss. 193-223.
6. Cao Z, Zhu C, Zhou Y, Wang Y, Chen M, Ju Y, Zhao X. Risk factors related balance disorder for patients with dizziness/vertigo. *BMC Neurology.* 2021, 21(186): 1-9.
7. Casani A, Navari E, Albera R, Agus G, Libonati G, Chiarella G, Lombardo N, Marcelli V, Ralli G, Santillo L, Teggi R, Viola P, Califano L. Approach to residual dizziness after successfully treated benign paroxysmal positional vertigo: effect of a polyphenol compound supplementation. *Clin Pharmacol.* 2019, 11: 117–125.
8. Cesaroni A, Silva M, Ganança M, Caovilla H. Postural control at posturography with virtual reality in the intercritical period of vestibular migraine. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology.* 2021, 87(1): 35-41.
9. Chan Y. Differential diagnosis of dizziness. *Curr. Opin. Otolaryngol. Head Neck Surg.* 2009, 17(3): 200-203.
10. DeLong E, DeLong D, Clarke-Pearson D. Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach. *Biometrics* 1988, 44(3):837–845.

11. Dennis R, Louie B, Janice J. Berg Balance Scale at admission can predict walking suitable for community ambulation at discharge from inpatient stroke rehabilitation. *J Rehabil Med* 2018; 50: 37–44.
12. DiFabio PR. Meta-analysis of the sensitivity and specificity of platform posturography. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 1996, 122(2): 150-156.
13. Dougherty J, Carney M, Emmady P. Vestibular Dysfunction. StatPearls Publishing. 2021, 1: 1-19.
14. Fawcett T. An introduction to ROC analysis, *Pattern Recognition Letters* 2006, 42(8): 861–874.
15. Fedorowicz J, Bielińska M, Olszewski J. Posturography studies in patients with central and mixed vertigo Summary. *Polish Journal of Otolaryngology* 2018, 72(3): 19-25.
16. Forestier B, Anthoine E, Reguiat Z, Fohrer C, Blanchin M. A systematic review of dimensions evaluating patient experience in chronic illness. *Health and Quality of Life Outcomes.* 2019, 17(19): 1-13.
17. Garrigues HP, Andres C, Arbaizar A, Cerdan C, Meneu V, Oltra JA, Santonja J, Perez A. Epidemiological aspects of vertigo in general population of the Autonomous Region of Valencia, Spain. *Acta Otolaryngol.* 2008, 128: 43-47.
18. Gorski L, daSilva A, Cusin F, Cesaroni S, Ganança M, Caovilla H. Body balance at static posturography in vestibular migraine. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology.* 2019, 85(2): 183-192.
19. Grimley EJ. Transient neurological dysfunction and risk of stroke in elderly English population; the different significance of vertigo and non - rotatory dizziness. *Age Ageing* 1990, 19: 43-49.
20. Grill E, Penger M, Kentala E. Health care utilization, prognosis and outcomes of vestibular disease in primary care settings: systematic review. *Journal of Neurology.* 2016, 263: 36-44.
21. Grunfeld EA, Gresty MA, Bronstein AM, Jahanshahi M. Screening for depression among neuro-otology patients with and without identifiable vestibular lesions. *Int. J. Audiol.* 2003, 42: 161-165.

22. Gurpinar B, Kara B, Idiman E. Effects of aquatic exercises on postural control and hand function in Multiple Sclerosis: Halliwick versus Aquatic Plyometric Exercises: a randomised trial. *J Musculoskelet Neuronal Inter.* 2020, 20; 20(2): 249-25.
23. Hall C, Herdman S, Whitney S, Cass P, Clendaniel R, Fife T, Furman J, Getchius T, Goebel J,D, Shepard N, Woodhouse S. Vestibular Rehabilitation for Peripheral Vestibular Hypofunction: An Evidence-Based Clinical Practice Guideline. *J Neurol Phys Ther.* 2016, 40(2): 124-155.
24. Halmagyi GM. Diagnosis management of vertigo. *Clinical Medicine* 2005, 5(2): 159-165.
25. Hanley K, O'Dowd T, Considine N. A systematic review of vertigo in primary care. *Br. J. Gen. Pract.* 2001, 51: 666-671.
26. Hannaford PC, Simpson JA, Bissot AF, Davis A, McKerrow W, Mills R. The prevalence of ear, nose and throat problems in the community: results from a national cross-sectional postal survey in Scotland. *Fam. Practice* 2005, 22: 227-233.
27. Hansson E, Magnusson M. Vestibular asymmetry predicts falls among elderly patients with multi- sensory dizziness. *BMC Geriatrics* 2013, 13(77): 1-6.
28. Henry M, Baudry S. Age-related changes in leg proprioception: implications for postural control. *J Neurophysiol.* 2019, 122(2): 525–538.
29. Honaker J, Janky K, Patterson J, Shepard N. Modified head shake sensory organization test: Sensitivity and specificity. *Gait Posture.* 2016, 49: 1-14.
30. Hong SK, Park JH, Kwon SY, Kim JS, Koo JW. Clinical efficacy of the Romberg test using a foam pad to identify balance problems: a comparative study with the sensory organization test. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2015, 272: 2741-2747.
31. Inojosa H, Schriefer D, Klöditz A, Trentzsch K, Ziemssen T. Balance Testing in Multiple Sclerosis—Improving Neurological Assessment With Static Posturography? *Front Neurol.* 2020, 11(135): 1-8.
32. Ivanenko Y, Gurfinkel V. Human Postural Control. *Frontiers in Neuroscience.* 2018, 12(171): 1-9.
33. Jaczewska J, Zalewski M. Ocena skuteczności rehabilitacji w leczeniu pacjentów z zawrotami głowy i zaburzeniami równowagi wywołanymi dysfunkcją układu

- przedsionkowego z wykorzystaniem komputerowej posturografii dynamicznej. *Doniesienia wstępne. Rehabilitacja Medyczna* 2012, 16(2): 9-15.
34. Kahl O, Wierzbicka E, Dębińska M, Mraz M, Mraz M. Compensatory image of the stability of people with multiple sclerosis and atrial vertigo based on posturography examination. *Scientific Reports*. 2021, 11(7027): 1-11.
  35. Karatas A. Central vertigo and dizziness: epidemiology, differential diagnosis, and common causes. *Neurologist* 2008, 14(6): 355-364.
  36. Karlon A, Nitzani D, Achiron A. Static posturography across the EDSS scale in people with multiple sclerosis: a cross sectional study. *BMC Neurol*. 2016, 16(70): 1-8.
  37. Koc A, Akkılıc E. Effects of vestibular rehabilitation in the management of patients with and without vestibular migraine. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology* 2021, 1130: 1-9.
  38. Koo JW, Chang MY, Woo SY, Kim S, Cho YS. Prevalence of vestibular dysfunction and associated factors in South Korea. *BMJ Open* 2015, 5: 1-11.
  39. Kroenke K, Price RK. Symptoms in the community: prevalence, classification, and psychiatric commorbidity. *Arch. Intern. Med.* 1993, 153: 2474-2480.
  40. Kroenke K, Hoffman RM, Einstadter D. How common are various causes of dizziness ? A critical review. *South Med. J.* 2000, 93(2): 160-167.
  41. Kuczyński M, Szymańska M, Bieć E. Dual-task effect on postural control in high-level competitive dancers. *J Sports Sci.* 2011, 29(5): 539-545.
  42. Kundakci B, Sultana A, Taylor A, Alshehri M. The effectiveness of exercise-based vestibular rehabilitation in adult patients with chronic dizziness: A systematic review. *F1000Research* 2018, 7(276): 1-13.
  43. Lacour M, Tardivet L, Thiry A. Posture Deficits and Recovery After Unilateral Vestibular Loss: Early Rehabilitation and Degree of Hypofunction Matter. *Front Hum Neurosci.* 2021, 15: 1-12.
  44. Liu B, Zhao G, Jin L, Shi J. Association of Static Posturography With Severity of White Matter Hyperintensities. *Front Neurol.* 2021, 12(579281): 1-6.
  45. Lucieer F, Duijn S, Van Rompaey V, Fornos A, Guinand N, Guyot J, Kingma H, Van de Berg R. Full Spectrum of Reported Symptoms of Bilateral Vestibulopathy

- Needs Further Investigation—A Systematic Review. *Front. Neurol.* 2018, 9(352): 1-7.
46. Makowska I. Porównanie dwóch metod rehabilitacji przedsionkowej u chorych o przebyłym zapaleniu nerwu przedsionkowego oraz po operacji przecięcia nerwu przedsionkowego. *Polski Przegląd Otolaryngologiczny* 2017, 6(4): 47-54.
47. Mangalam M, Kelty-Stephen D. Hypothetical control of postural sway. *J R Soc Interface.* 2021, 18(176): 1-12.
48. Marioni G, Fermo S, Lionello M, Fasanaro E, Giacomelli L, Zanon S, Staffieri C, Dall'Igna F, Manzato E, Staffieri A. Vestibular rehabilitation in elderly patients with central vestibular dysfunction: a prospective, randomized pilot study. *AGE* 2013, 35: 2315–2327.
49. Möhwald K, Bardins S, Müller H, Jahn K, Zwergal A. Protocol for a prospective interventional trial to develop a diagnostic index test for stroke as a cause of vertigo, dizziness and imbalance in the emergency room (EMVERT study). *BMJ Open* 2017,7: 1-6.
50. Mraz M, Wierzbička E, Kahl O, Dębińska M, Mraz M, Chamela-Bilińska D. Wpływ ćwiczeń koordynacji wzrokowo-ruchowej na stabilność posturalną słuchaczyk Uniwersytetu Trzeciego Wieku. *Gerontologia Współczesna.* 2018, 3(6): 90-98.
51. Murdin L, Schilder A. Epidemiology of Balance Symptoms and Disorders in the Community. *Otology & Neurotology.* 2015, 36(3): 387-392.
52. Nakashima K, Yokoyama Y, Shimoyama R, Saito H, Kuno N, Sano K, Rin Y, Adachi Y, Krakami K, Oshima T, Takeshita K, Takahashi K. Prevalence of neurological disorders in a Japanese town. *Neuroepidemiology* 1996, 15: 208-213.
53. Nam G, Jung C, Kim J, Son E. Relationship of Vertigo and Postural Instability in Patients With Vestibular Schwannoma. *Clin Exp Otorhinolaryngol.* 2018, 11(2): 102–108.
54. Narożny W, Kocić I. Współczesna terapia zawrotów głowy i zaburzeń równowagi. *Otorinolaryngologia* 2016, 15(2): 87-93.

55. Wysocki J. Anatomia i fizjologia ośrodkowej części układu równowagi. W: Narożny W, Prusiński A. (red), Leczenie zawrotów głowy i zaburzeń równowagi. ME, Warszawa, 2012, ss. 31-47.
56. Neuhauser HK, Brevern M, Radtke A, Lezius F, Feldman M, Zise T. Epidemiology of vestibular vertigo. A neurologic survey of the general population. *Neurology* 2005, 65: 898-904.
57. Neuhauser HK. Epidemiology of vertigo. *Curr. Opin. Neurol.* 2007, 20: 40-46.
58. Neuhauser HK, Radtke A, Brevern M, Lezius F, Feldman M, Lempert T. Burden of dizziness and vertigo in the community. *Arch. Intern. Med.* 2008, 168(19): 2118-2124.
59. Pierchała K. Analiza przyczyn zawrotów głowy i zaburzeń równowagi - na materiale Pracowni Elektronystagmografii Kliniki Otolaryngologii Akademii Medycznej w Warszawie w latach 1970-1994. *Biblioteczka Prospera Meniere'a* 1998, 2(1-2): 7-57.
60. Pierchała K. Farmakoterapia zawrotów głowy. *Mag. Otolaryngologiczny* 2008, luty, wydanie specjalne.
61. Prusiński A. Klasyfikacja, obraz kliniczny i leczenie zawrotów głowy. *Polski Przegląd Neurologiczny*. 2011, 7(1): 11-19.
62. Quitschal R, Fukumaga J, Gananca M, Caovilla H. Evaluation of postural control in unilateral vestibular hypofunction. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology* 2014, 80(4): 339-345.
63. Reutimann S, Hill-Strathy M, Krewer C, Bergmann J, Muller F, Jahn K, Rauen K. Influence of footwear on postural sway: A systematic review and meta-analysis on barefoot and shod bipedal static posturography in patients and healthy subjects. *Gait and Posture*. 2022, 92: 302-314.
64. Rey M, Clark T, Wang W, Leeder T, Bian Y, Merfeld D. Vestibular Perceptual Thresholds Increase above the Age of 40. *Front. Neurol.* 2016, 7: 1-17.
65. Roceanu A, Capris G, Bajenaru O. Balance assessment using computerized static posturography. *Romanian Journal of Neurology* 2014, 7(1): 23-30.

66. Shahrami A, Norouzi M, Kariman H, Hatamabadi HR, Dolatabadi A. True Vertigo Patients in Emergency Department; an Epidemiologic Study. *Emergency* 2016; 4 (1): 25-28.
67. Sloane PD. Dizziness in primary care. Results from National Ambulatory Medical Care Survey. *J. Fam. Pract.* 1989, 29(1): 33-38.
68. Smółka W, Smółka K, Markowski J, Pilch J, Piotrowska-Seweryn A, Zwierzchowska A. The efficacy of vestibular rehabilitation in patients with chronic unilateral vestibular dysfunction. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health.* 2020, 33(3): 273–282.
69. Stankiewicz T, Gujski M, Niedzielski A, Chmielik L. Virtual Reality Vestibular Rehabilitation In 20 Patients with Vertigo Due to Peripheral Vestibular Dysfunction. *Med Sci Monit.* 2020, 26: 1-9.
70. Starkov D, Strupp M, Pleshkov M, Kingma H, van de Berg R. Diagnosing vestibular hypofunction: an update. *Journal of Neurology.* 2021, 268: 377–385.
71. Strupp M, Długaiczek J, Ertl-Wagner B, Rujescu D, Westhofen M, Dieterich M. Vestibular Disorders. *Dtsch Arztebl Int.* 2020, 117: 300-310.
72. Szostek-Rogula S, Zamysłowska-Szmytke E. Przegląd skal i testów dla oceny czynnościowej pacjenta z zawrotami głowy i zaburzeniami równowagi. *Otolaryngologia* 2015, 14 (3): 141-149.
73. Tacikowska G. Rehabilitacja ruchowa (rehabilitacja przedsionkowa) w zawrotach głowy i zaburzeniach równowagi. *Nowa Audiologia* 2012, 1(1): 107-111.
74. Tomaszewska M, Markowska A, Borkowska A. Test Stroopa-wartość diagnostyczna w psychiatrii. *Neuropsychiatr Neuropsychol.* 2010, 5(1): 35-41.
75. Torre J, Marin J, Polo M, Marin J. Applying the Minimal Detectable Change of a Static and Dynamic Balance Test Using a Portable Stabilometric Platform to Individually Assess Patients with Balance Disorders. *Healthcare* 2020, 8(402): 1-18.
76. Troost BT. Zawroty głowy nieukładowe i układowe. W: *Neurologia w praktyce klinicznej. Zasady diagnostyki i postępowania.* Lublin 2006: 284-300.
77. Tuunainen E, Rasku J, Jantti P, Pyykko I. Risk factors of falls in community dwelling active elderly. *Auris Nasus Larynx* 2014, 41(1): 10-16.

78. Van Ombergen A, Lubeck A, Van Rompaey V, Maes L, Stins J, Van de Heyning P, Wuyts F, Bos J. The Effect of Optokinetic Stimulation on Perceptual and Postural Symptoms in Visual Vestibular Mismatch Patients. *PLOS ONE* 2016, 11(4): 1-18.
79. Vidal P, Huijbregts P. Dizziness in Orthopaedic Physical Therapy Practice: History and Physical Examination. *The Journal of Manual & Manipulative Therapy* 2005, 13(4): 22-251.
80. Watała C. Biostatystyka – wykorzystanie metod statystycznych w pracy badawczej w naukach biomedycznych. *α-medica Press* 2002, 169-172.
81. Wojtczak R, Narożny W, Siebert J. Polskie populacyjne epidemiologiczno-kliniczne badanie zawrotów głowy i zaburzeń równowagi — mieszkańcy miasta i gminy Bytów. *Forum Medycyny Rodzinnej* 2012, 6 (1): 24–34.
82. Wojtczak R, Narożny W, Kuczkowski J, Siebert J. Epidemiology of dizziness in northern Poland – The first Polish neurootologic survey of the general population. *Ann Agric Environ Med.* 2017, 24(3): 502–506.
83. Wong E, Chiao W, Strangio T, Luong K, Pasquesi L, Allen E, Sharon D. Understanding Extremely Elevated Dizziness Handicap Inventory Scores: An Analysis of Predictive Factors. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology.* 2021, 10: 1-12.
84. Yamamoto M, Gananca C. Posturography with virtual reality stimuli in different vestibular disfunctions. *Rev Soc Bras Fonoaudiol.* 2012, 17(1): 54-60.
85. Zamysłowska-Szmytke E, Szostek-Rogula S, Śliwińska-Kowalska M. Badanie czynnościowe osób z zawrotami głowy i zaburzeniami równowagi dla potrzeb medycyny pracy. *Medycyna Pracy* 2018, 69(2): 179–189.
86. Zur O, Berner Y, Ohel Y, Carmeli E. Two-Year Follow-Up of Fall Prediction Among Older Adults in an Independent- Living Community. *Adv Exp. Medicine, Biology - Neuroscience and Respiration* 2018, 1040: 63-71.



## STRESZCZENIE

**Tytuł rozprawy doktorskiej:** Stabilność strukturalna osób z zawrotami głowy pochodzenia obwodowego podczas utrzymywania równowagi w swobodnej pozycji stojącej oraz w próbach uczulonych

**Słowa kluczowe:** obwodowe zawroty głowy, stabilność, platforma posturograficzna, próby uczulone, czynniki destabilizujące, parametry posturograficzne, szacowanie zaburzeń równowagi

**Wstęp:** Zawroty głowy i zaburzenia równowagi należą do jednych z najtrudniejszych problemów medycznych. Wynika to, że skomplikowanej budowy anatomicznej narządu równowagi oraz udziału wielu zmysłów w kontroli postawy.

Uszkodzony błędnik prowadząc do zaburzeń równowagi bioelektrycznej w połączeniach przedsionkowo-rdzeniowych i przedsionkowo-okoruchowych skutkuje oczopląsem i brakiem stabilizacji pola widzenia, i w konsekwencji pojawia się zawrót głowy, czyli złudzenie (iluzja) ruchu otoczenia (najczęściej wirowego) lub własnego ciała albo tylko głowy. Efektem tej iluzji są zaburzenia równowagi i niestabilność. Aby tę niestabilność ocenić badaniem posturograficznym należy wzmocnić/sprowokować zawroty głowy.

Wyznaczenie wartości progowych zmierzonych parametrów podczas prób na platformie posturograficznej i szacowanie zagrożenia zaburzeniami równowagi oraz stopień/obecność kompensacji przedsionkowej jest kluczowe w diagnostyce posturograficznej osób z uszkodzonym narządem przedsionkowym. Pozwala to na szybkie wprowadzenie skuteczniejszej terapii i osiągnięcie głównego celu jakim jest ograniczenie ryzyka upadku.

**Cel pracy:** Celem pracy jest ocena stabilności ciała osób z obwodowym uszkodzeniem części przedsionkowej błędnika podczas utrzymywania równowagi w swobodnej pozycji stojącej oraz zaburzonej czynnikami prowokującymi zawrót głowy.

**Hipoteza:** U osób z obwodowym uszkodzeniem układu przedsionkowego dochodzi do zaburzenia naturalnej dla osób zdrowych reakcji na bodziec destabilizujący.

**Pytania badawcze:** 1. Jak zmienia się stabilność ciała osób z zawrotami głowy po zastosowaniu czynników prowokujących zawrót głowy? 2. Jak zmienia się stabilność ciała osób zdrowych po zastosowaniu prób uczulonych? 3. Czy i jak wielkość zmiany parametrów posturograficznych po zastosowaniu prób uczulonych różni się u osób

z zawrotami głowy w porównaniu z osobami zdrowymi? 4. Czy na podstawie wielkości parametrów posturograficznych jest możliwe szacowanie zaburzeń równowagi u osób z obwodowymi zawrotami głowy? 5. Czy na podstawie wielkości parametrów posturograficznych jest możliwe szacowanie kompensacji przedsionkowej?

**Material i metody:** Badania zostały przeprowadzone za zgodą Senackiej Komisji ds. Etyki Badań Naukowych przy Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu.

W badaniach wzięło udział 21 osób obojga płci (16 kobiet i 5 mężczyzn), w wieku od 21 do 42 lat (średnia wieku  $35,14 \pm SD 5,14$ ), u których zdiagnozowane były zawroty głowy wynikające z uszkodzenia obwodowego układu przedsionkowego. Grupa kontrolna to 30 osób obojga płci (16 kobiet i 14 mężczyzn) bez objawów zawrotów głowy i zaburzeń równowagi w wieku od 21 do 28 lat (średnia wieku  $23,9 \pm SD 1,9$ ), które nie uprawiają zawodowo sportu i nie zgłaszają objawów chorobowych.

Przebieg badania w grupie eksperymentalnej: 1. Wywiad 2. Próba Romberga i Zmodyfikowana próba Romberga 3. Ocena równowagi Berg Balance Scale 4. Badanie stabilności w pozycji stojącej na platformie posturograficznej firmy PRO-MED: próba standardowa na podłożu twardym przy oczach otwartych i zamkniętych; próba z wykorzystaniem wzrokowego sprzężenia zwrotnego; próba na podłożu miękkim przy oczach otwartych i zamkniętych; próba w pozycji stojącej tandem (stopa za stopą); próba po zmianie pozycji z siedzenia do stania (ang. sit to stand); próba z zastosowaniem zadania mentalnego - test Stroopa; próba ze stymulacją optokinetyczną; próba dynamiczna z wykorzystaniem wzrokowego sprzężenia zwrotnego według zaprojektowanego obrazu.

Przebieg badania w grupie kontrolnej: 1. Wywiad 2. Badanie na platformie posturograficznej wg protokołu grupy eksperymentalnej.

W pracy posłużono się nowoczesnymi metodami statystycznymi. Do porównania parametrów między grupą z zawrotami głowy a grupą zdrowych użyto testu rang Wilcoxon. Analizę wewnątrzgrupową dla grupy z zawrotami głowy i grupy zdrowych przeprowadzono testem U Manna-Whitneya. Szacowanie zaburzeń równowagi zostało ocenione za pomocą regresji logistycznej z ilorazem szans. Następnie, pomiędzy osobami z zawrotami głowy i osobami zdrowymi przeprowadzono analizę ROC. Analizie poddano następujące parametry i wskaźniki: pole powierzchni stabilogramu (A), długość ścieżki stabilogramu (L), średnia prędkość oscylacji COP (V), liczba wychyleń w płaszczyźnie

czołowej (NW\_X) oraz strzałkowej (NW\_Y), wskaźnik kontroli wzrokowej (WKW), wskaźnik koordynacji wzrokowo-ruchowej (WKW-R), długością ścieżki COP zadania dynamicznego.

**Wyniki:** Ocena stabilności ciała osób z zawrotami głowy (grupa eksperymentalna) oraz osób zdrowych (grupa kontrolna) po zastosowaniu czynników destabilizujących i prowokujących zawrót głowy, wykazała istotny wpływ tych czynników na obraz stabilności. Czynnikiem, który w większości analiz nie wykazał istotnego wpływu na zmianę wielkości parametrów było zastosowanie dodatkowego zadania mentalnego oraz stymulacja optokinetyczna.

Analizą statystyczną porównano wyniki próby dynamicznej w grupie eksperymentalnej i kontrolnej. Wykazano, że długość oscylacji COP nie wykazuje różnic istotnych statystycznie między osobami z zawrotami głowy a osobami zdrowymi, co oznacza, że próba dynamiczna nie różnicuje stabilności badanych osób podczas utrzymywania równowagi w tym zadaniu.

Analiza międzygrupowa parametrów A, L, V, NW\_X oraz NW\_Y w badaniu na podłożu twardym przy oczach otwartych (stanie swobodne) wykazała brak różnicy istotnej statystycznie, tym samym udowodniono, zbieżny obraz stabilności ciała osób z zawrotami głowy i osób zdrowych podczas utrzymywania równowagi w pozycji stojącej na twardym podłożu z oczami otwartymi.

Analiza porównawcza testem U Manna-Whitneya wielkości zmiany parametru pod wpływem czynnika destabilizującego między grupami wykazała różnice istotne statystycznie. Zastosowanie czynników destabilizujących w próbach posturograficznych wpływa w różny sposób utrzymywanie równowagi w pozycji stojącej u osób z zawrotami głowy i osób zdrowych.

W analizie regresją logistyczną, trzy parametry z badania posturograficznego w pozycji tandem okazały się czułe i istotne w szacowaniu prawdopodobieństwa wystąpienia zaburzeń równowagi u osób z zawrotami głowy. Wobec tego, wielkość pola powierzchni stabilogramu, długość całkowita stabilogramu oraz średnia prędkość oscylacji COP w próbie stania w pozycji tandem umożliwiają szacowanie zagrożenia zaburzeniem równowagi. Wykazano, możliwość istotnego szacowania mniejszego ryzyka zaburzeń

równowagi na podstawie wskaźnika kontroli wzrokowej w próbie stania na podłożu miękkim.

**Wnioski:**

1. Osoby z zawrotami głowy pochodzenia obwodowego charakteryzują się niezaburzoną stabilnością podczas utrzymywania równowagi w stanie swobodnym (podłoże twarde, oczy otwarte).
2. Czynniki destabilizujące i prowokujące zawrót głowy wpływają istotnie na sposób utrzymywania równowagi w pozycji stojącej przez osoby z zawrotami głowy pochodzenia obwodowego.
3. Przekierowanie uwagi na zadanie mentalne podczas utrzymywania równowagi w pozycji stojącej (test Stroopa), nie wykazuje pogorszenia stabilności osób z zawrotami głowy, co może świadczyć o niezaburzonej stabilności podczas utrzymywania równowagi w pozycji stojącej na podłożu twardym (stanie swobodne).
4. Najsilniejszym czynnikiem destabilizującym osoby z zawrotami głowy jest pozycja tandem, gdzie podczas utrzymywania równowagi w tej pozycji, obserwuje się zaburzenia stabilności ciała.
5. Na podstawie badania posturograficznego jest możliwość szacowania zaburzeń równowagi u osób z zawrotami głowy.
6. Czułym parametrem, który istotnie charakteryzującego niestabilność osób z zawrotami głowy jest pole powierzchni stabilogramu (A) oraz całkowita długość stabilogramu (L), a także średnia prędkość oscylacji COP podczas utrzymywania równowagi w pozycji tandem z oczami otwartymi.
7. Na podstawie wielkości pola powierzchni stabilogramu (A) oraz całkowitej długości stabilogramu (L), a także średniej prędkości oscylacji COP podczas utrzymywania równowagi w pozycji tandem z oczami otwartymi jest możliwość szacowania wzrostu ryzyka zaburzeń równowagi u osób z zawrotami głowy.
8. Wskaźnik koordynacji wzrokowej może być czułym parametrem określającym kompensację wzrokową (WKW) osób z zawrotami głowy, podczas utrzymywania równowagi w pozycji stojącej na podłożu miękkim.

## **ABSTRACT**

**Topic:** Structural stability of people with peripheral vertigo while maintaining balance in a free standing position and in sensitized trials

**Key words:** vertigo, stability, posturographic platform, sensitized tests, destabilizing factors, posturographic parameters, estimation of balance disorders

**Introduction:** Vertigo and imbalance are among the most difficult medical problems. This is due to the complicated anatomical structure of the balance organ and the participation of many senses in postural control. A damaged labyrinth, leading to bioelectric imbalances in the vestibulospinal and vestibulo-oculomotor connections, results in nystagmus and the lack of stabilization of the visual field, and as a consequence, dizziness appears, i.e. the illusion (illusion) of the movement of the environment (usually vortex) or of one's own body or only the head. The effect of this illusion is imbalance and instability. In order to assess this instability by posturographic examination, vertigo should be strengthened / induced. Determining the threshold values of the measured parameters during tests on the posturographic platform and estimating the risk of imbalances as well as the degree / presence of atrial compensation are key in the posturographic diagnostics of people with a damaged vestibular organ. This allows you to quickly introduce more effective therapy and achieve the main goal of reducing the risk of falling.

**Aim:** The aim of the study is to assess the body stability of people with peripheral damage to the vestibular part of the labyrinth while maintaining balance in a free standing position and disturbed by factors provoking vertigo.

**Hypothesis:** In people with peripheral damage to the vestibular system, the natural reaction of healthy people to the destabilizing stimulus is disturbed.

**Research questions:** 1. How does the stability of the body of people with dizziness change after using factors that provoke vertigo? 2. How does the stability of the body of healthy people change after the use of sensitized trials? 3. Whether and how the size of changes in posturographic parameters after the use of sensitized trials differs in people with vertigo compared to healthy people? 4. Is it possible to estimate balance disorders in people with peripheral vertigo based on the size of posturographic parameters? 5. Is it possible to estimate vestibular compensation based on the size of posturographic parameters?

**Material and methods:** The research was conducted with the consent of the Senate Committee for Ethics of Scientific Research at the University of Physical Education in Wrocław. The study involved 21 people of both sexes (16 women and 5 men), aged 21 to 42 years (mean age  $35.14 \pm SD 5.14$ ), diagnosed with vertigo resulting from damage to the peripheral vestibular system. The control group consists of 30 people of both sexes (16 women and 14 men) without symptoms of vertigo and balance disorders, aged 21 to 28 (mean age  $23.9 \pm SD 1.9$ ), who do not practice sports professionally and do not report symptoms sickness. The course of the study in the experimental group: 1. Interview 2. Romberg's test and Modified Romberg's test 3. Berg Balance Scale assessment 4. Standing stability test on the PRO-MED posturographic platform: standard test on a firm surface with eyes open and closed; visual feedback test; soft ground test with eyes open and closed; tandem standing test (foot by foot); test after changing the position from sitting to standing (sit to stand); test with the use of a mental task - the Stroop test; test with optokinetic stimulation; dynamic test using visual feedback according to the designed image. The course of the study in the control group: 1. Interview 2. Study on the posturographic platform according to the protocol of the experimental group. The work uses new statistical methods. Wilcoxon's rank test was used to compare the parameters between the group with vertigo and the group of healthy people. The within-group analysis for the vertigo group and the healthy group was performed with the Mann-Whitney U test. Estimation of imbalances was assessed by logistic regression with odds ratio. Then, the ROC analysis was performed between people with vertigo and healthy people. The following parameters and indicators were analyzed: stabilogram surface area (A), stabilogram path length (L), average oscillation velocity COP (V), number of deflections in the lateral plane (NW\_X) and sagittal plane (NW\_Y), vision control index (VCI), vision-motion control index (VMCI), the length of the COP path of a dynamic task.

**Results:** The assessment of the body stability of people suffering from vertigo (experimental group) and healthy people (control group) after the use of destabilizing and provoking factors, showed a significant influence of these factors on the image of stability. The factor which in most analyzes did not show a significant effect on the change in the size of the parameters was the use of an additional mental task and optokinetic stimulation. Statistical analysis compared the results of the dynamic test in the experimental and control

groups. It has been shown that the COP oscillation length does not show statistically significant differences between people with vertigo and healthy people, which means that the dynamic test does not differentiate the stability of the examined people while maintaining balance in this task. The intergroup analysis of the parameters A, L, V, NW\_X and NW\_Y in the firm test with eyes open (free state) showed no statistically significant difference, thus it was proved that a similar image of body stability in people with dizziness and healthy people while maintaining balance in the position standing on a firm surface with eyes open. Comparative analysis of the value of the parameter change under the influence of the destabilizing factor between the groups using the Mann-Whitney U test showed statistically significant differences. The use of destabilizing factors in posturographic tests has a different effect on maintaining balance in a standing position in people with dizziness and healthy people. In the logistic regression analysis, three parameters from the tandem posturographic examination turned out to be sensitive and important in estimating the probability of the occurrence of imbalances in people with vertigo. Therefore, the size of the stabilogram surface area, the overall length of the stabilogram and the average oscillation velocity of the COP in the tandem standing test make it possible to estimate the risk of an imbalance. It was shown that the possibility of a significant estimation of the lower risk of imbalances on the basis of the ), vision control index in the test of standing on a soft ground.

**Conclusions:**

1. People with vertigo of peripheral origin are characterized by undisturbed stability while maintaining balance in a free state (firm ground, eyes open).
2. Factors destabilizing and provoking dizziness significantly affect the way people with peripheral vertigo maintain balance in a standing position.
3. Redirecting attention to a mental task while maintaining balance in a standing position (Stroop test), does not show any deterioration in the stability of people with vertigo, which may indicate undisturbed stability while maintaining balance in a standing position on a firm surface (free state).
4. The strongest destabilizing factor in people with vertigo is the tandem position, where while maintaining balance in this position, body stability disorders are observed.
5. On the basis of posturographic examination, it is possible to estimate balance disorders in people with vertigo.

6. A sensitive parameter that significantly characterizes the instability of people with vertigo is the area of the stabliogram (A) and the total length of the stabilogram (L), as well as the average oscillation velocity of the COP while maintaining the equilibrium in the tandem position with eyes open.
7. Based on the size of the surface area of the stabliogram (A) and the total length of the stabilogram (L), as well as the average oscillation velocity of the COP while maintaining equilibrium in the tandem position with open eyes, it is possible to estimate the increased risk of balance disorders in people with vertigo.
8. The visual coordination index can be a sensitive parameter determining the vision control index (VCI) of people with vertigo while maintaining balance in a standing position on a soft surface.



## SPIS RYSUNKÓW

Rysunek 1. Obraz obserwowany w goglach – stymulacja optokinetyczna .....	22
Rysunek 2. Obraz próby dynamicznej – lokalizacja i czas wyświetlania dziewięciu obiektów.....	23
Rysunek 3. Przykładowe stabilogramy próby standardowej osoby z zawrotami głowy (GE) i osoby zdrowej (GK) .....	25
Rysunek 4. Przykładowe stabilogramy próby stania na gąbce osoby z zawrotami głowy (GE) i osoby zdrowej (GK) .....	26
Rysunek 5. Przykładowe stabilogramy prób: w pozycji tandem, „sit to stand”, test Stroopa, stymulacja optokinetyczna osoby z zawrotami głowy (GE) i osoby zdrowej (GK) .....	26
Rysunek 6. Przykładowe stabilogramy próby dynamicznej osoby z zawrotami głowy (GE) i osoby zdrowej (GK) .....	27
Rysunek 7. Wykres zmian wielkości parametru pola powierzchni stabilogramu po zadziałaniu czynnika destabilizującego .....	36
Rysunek 8. Wykres zmian wielkości parametru długości całkowitej stabilogramu po przyjęciu pozycji tandem oraz sit to stand.....	37
Rysunek 9. Wykres zmian wielkości parametru średniej prędkości oscylacji COP po przyjęciu pozycji tandem oraz sit to stand.....	38
Rysunek 10. Wykres zmian wielkości parametrów ilości wychwiał w płaszczyźnie czołowej i strzałkowej po przyjęciu pozycji tandem oraz sit to stand oraz z zastosowaniem wzrokowego sprzężenia zwrotnego .....	39
Rysunek 11. Krzywa ROC wskaźnika WKW2 .....	42
Rysunek 12. Krzywa ROC parametru A_5_1 .....	43
Rysunek 13. Analiza ROC parametru L_5_1 .....	44
Rysunek 14. Krzywa ROC parametru V_5_1 .....	44

**SPIS TABEL**

Tabela 1. Test rang Wilcoxoną parametrów posturograficznych osób z zawrotami głowy	29
Tabela 2. Test rang Wilcoxoną parametrów posturograficznych osób zdrowych.....	31
Tabela 3. Test U Manna-Whitneya czasu wykonania zadania dynamicznego między grupami .....	32
Tabela 4. Test U Manna-Whitneya parametrów posturograficznych w badaniu na podłożu twardym przy oczach otwartych między grupami .....	33
Tabela 5. Analiza międzygrupowa wielkości zmian badanych parametrów .....	33
Tabela 6. Statystyka opisowa wielkości zmian badanych parametrów osób z zawrotami głowy .....	34
Tabela 7. Statystyka opisowa wielkości zmian badanych parametrów osób zdrowych.....	34
Tabela 8. Regresja logistyczna OR z przedziałami ufności 95% (95% CI) .....	40
Tabela 9. Wartości krzywych ROC poszczególnych parametrów .....	41