

Łódź 20.10.2024

AUTOREFERAT

Opis dorobku i osiągnięć

Dr n. med. Oskara Rosiaka

Dr n. med. Oskar Rosiak

Klinika Otolaryngologii

Instytut Centrum Zdrowia Matki Polki w Łodzi

Spis treści

1. Dane osobowe.....	3
2. 2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.....	3
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.....	4
4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).....	4
4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego.....	4
4.2 Wykaz publikacji wchodzących w skład cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1 pkt 2b ustawy stanowiących osiągnięcie naukowe.....	4
4.3 Przedstawienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich wykorzystania.....	6
4.3.1 Wprowadzenie.....	6
4.3.2 Omówienie osiągniętych wyników dzieła naukowego.....	9
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.....	27
5.1 Współpraca z innymi instytucjami naukowymi.....	27
5.2 Wyjazdy zagraniczne i staże.....	30
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.....	30
7. Inne informacje, ważne z punktu widzenia wnioskodawcy, dotyczące jego kariery zawodowej.....	33
8. Bibliografia.....	34

1. Dane osobowe

Imię i nazwisko: Oskar Rosiak

ORCID: 0000-0002-5326-4777

Adres służbowy: Klinika Otolaryngologii

Instytut Centrum Zdrowia Matki Polki

Ul. Rzgowska 281/289

93-338 Łódź

Tel. 422711481

e-mail: orosiak@gmail.com

2. 2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

- 2014 Uzyskanie tytułu zawodowego lekarza na kierunku Lekarskim na Wydziale Lekarskim Uniwersytetu Medycznego w Łodzi
- 2014 Ukończenie studiów podyplomowych *Elementy metodologii Badań Empirycznych w Medycynie i Zastosowania Statystyki w Badaniach Biomedycznych* na Wydziale Lekarskim Uniwersytetu Medycznego w Łodzi
- 2020 Nadanie stopnia doktora nauk medycznych przez Uniwersytet Medyczny w Łodzi
Tytuł rozprawy: *Ocena rehabilitacji pacjentów z zawrotami głowy i zaburzeniami postawy za pomocą Techniki Wirtualnej Rzeczywistości*
Promotor: Prof. Dr hab. n. med. Magdalena Józefowicz-Korczyńska
Recenzenci: Prof. Dr hab. n. med. Krzysztof Morawski, dr hab. n. med. Ewa Zamysłowska-Szmytke
- 2022 Uzyskanie tytułu specjalisty w dziedzinie Otorynolaryngologia
Nadanego przez Centrum Egzaminów Medycznych

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

- 2020-2022 Młodszy asystent w Zakładzie Układu Równowagi, I Katedra Otolaryngologii, Uniwersytet Medyczny w Łodzi
- 2022-obecnie Adiunkt w Klinice Otolaryngologii, Instytutu Centrum Zdrowia Matki Polki w Łodzi
- 2022-obecnie Prowadzi zajęcia w Zakładzie Dydaktyki Pediatrycznej, Katedra Pediatrii i Immunologii Wieków Rozwojowego

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).

4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego

Analiza biosygnatów posturalnych w wirtualnej rzeczywistości jako metoda oceny sprawności układu równowagi

4.2 Wykaz publikacji wchodzących w skład cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1 pkt 2b ustawy stanowiących osiągnięcie naukowe.

Osiągnięcia stanowiące podstawę do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego w dziedzinie nauk medycznych stanowi monotematyczny cykl publikacji pt. „*Analiza biosygnatów posturalnych w wirtualnej rzeczywistości jako metoda oceny sprawności układu równowagi*” stanowiący dzieło naukowe. Osiągnięcie zostało udokumentowane spójnym cyklem 4 artykułów z okresu 2020-2024, w trzech jestem pierwszym autorem, w jednym drugim autorem.

Sumaryczny współczynnik IF dla publikacji przedstawionych w ramach cyklu wynosi 15, **sumaryczna liczba punktów MEiN 440**. Punktację MEiN podano zgodnie z aktualnym wykazem czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych (Komunikat Ministra Nauki z dnia 05 stycznia 2024r w sprawie wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji)

1. **Rosiak O**, Gawronska A, Janc M, Marciniak P, Kotas R, Zamyslowska-Szmytke E, Jozefowicz-Korczynska M. Utility of the Novel MediPost Mobile Posturography Device in the Assessment of Patients with a Unilateral Vestibular Disorder. *Sensors (Basel)*. 2022 Mar 12;22(6):2208. **(IF -3,9; MEiN – 100)**
2. **Rosiak O**, Puzio A, Kaminska D, Zwolinski G, Jozefowicz-Korczynska M. Virtual Reality-A Supplement to Posturography or a Novel Balance Assessment Tool? *Sensors (Basel)*. 2022 Oct 17;22(20):7904. **(IF 3,9; MEiN- 100)**
3. Gawronska A, **Rosiak O**, Pajor A, Janc M, Kotas R, Kaminski M, Zamyslowska-Szmytke E, Jozefowicz-Korczynska M. Instrumental and Non-Instrumental Measurements in Patients with Peripheral Vestibular Dysfunctions. *Sensors (Basel)*. 2023 Feb 10;23(4):1994. **(IF 3,4; MEiN- 100)**
4. **Rosiak O**, Pietrzak N, Szczęsna A, Kulczak I, Zwoliński G, Kamińska D, Konopka W, Jozefowicz-Korczynska M. The effect of Immersive Virtual Reality on balance: an exploratory study on the feasibility of head-mounted displays for balance evaluation. *Sci Rep*. 2024 Feb 12;14(1):3481. **(IF 3,8; MEiN- 140)**

Wymienione osiągnięcia naukowe powstały w ścisłej współpracy z dwoma niezależnymi zespołami badawczymi z Politechniki Łódzkiej. Prace 1 i 3 powstały w konsorcjum naukowo-badawczym trzech zespołów: Instytutu Medycyny Pracy im. J. Nofera, Zakładu Układu Równowagi Uniwersytetu Medycznego w Łodzi oraz Katedrą Mikroelektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Łódzkiej. Badania przeprowadzone w tym konsorcjum są wynikiem prac prowadzonych w latach 2016-2021 oraz publikowanych w kolejnych latach w ramach projektu Innoreh (STRATEGMED 2/266299/19/NCBR/2016). Dzięki udziałowi w projekcie Innoreh miałem możliwość współpracy i spotkań w zespole interdyscyplinarnym, również obejmującym współpracę z badaczami z instytucji zagranicznych. W trakcie trwania projektu byłem również kierownikiem dwóch zadań badawczych prowadzonych przez Zespół Uniwersytetu Medycznego w Łodzi (WP1 i WP5).

Prace 2 i 4 realizowane były wraz z Instytutem Mechatroniki i Systemów Informatycznych Politechniki Łódzkiej i skupiały się na wpływie środowiska wirtualnej rzeczywistości na układ równowagi człowieka.

W każdym z wymienionych powyżej projektów naukowych moje działania były nakierowane na opracowanie i walidację nowych metod oceny obiektywnej układu równowagi człowieka oraz przetwarzania sygnałów związanych z układem równowagi.

4.3 Przedstawienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich wykorzystania

4.3.1 Wprowadzenie

Utrzymanie równowagi jest złożonym procesem, który obejmuje informacje z różnych receptorów obwodowych, przetwarzane następnie przez centralny układ nerwowy. Informacje przetwarzane przez regiony mózgu i mózdzku odpowiedzialne za równowagę obejmują wzrok, czucie głębokie ze stawów i kończyn oraz układ przedsionkowy. Utrzymanie postawy pionowej w środowisku dynamicznym zachodzi dzięki interakcji obwodowych receptorów układu równowagi oraz mięśni głębokich, za mechanizmy te odpowiadają odruchy przedsionkowo-rdzeniowe. Poprzez odpowiednią regulację toniczną mięśni przykręgosłupowych, biodrowo-lędźwiowych oraz całości postawy zachodzą ruchy kompensujące ruchy podłoża, pozwalające na utrzymanie równowagi w obliczu zmieniających się warunków zewnętrznych. Odrębną funkcją układu równowagi jest stabilizacja spojrzenia oraz utrzymanie ostrości widzenia na świadomie obranym celu poprzez odpowiednie ruchy gałek ocznych, kompensacyjne w stosunku do ruchów głowy w przestrzeni, za te mechanizmy odpowiada odruch przedsionkowo-oczny (VOR). Te dwa podstawowe odruchy stanowią podstawę do instrumentalnych badań układu równowagi.

Integracja wzroku z układem równowagi jest mierzona głównie za pomocą wideonystagmografii (VNG). Pełna ocena VOR za pomocą VNG obejmuje próbę kaloryczną, badania na fotelu wahadłowym, ocenę miogennych potencjałów wywołanych lub badanie metodą vHIT (ang. Video Head Impulse Test). Badanie VNG dostarcza również informacji na temat integracji bodźców wzrokowych z układem przedsionkowym poprzez testy stabilizacji wzroku i funkcji okulomotorycznych. Zaburzenia odruchu przedsionkowo-okoruchowego odpowiedzialne są za powstawanie oczopląsu, a w konsekwencji odczucia zawrotów głowy u pacjenta.

Dokładna ocena kliniczna pacjenta z zaburzeniami równowagi i zawrotami głowy obejmuje również próby równowagi statycznej przeprowadzane przez lekarza, takie jak test Romberga lub zmodyfikowany kliniczny test interakcji sensorycznej i równowagi (mCTSIB ang. Modified Clinical Test for Sensory Interaction in Balance) (1). Próby statyczne, opierają się głównie na poddawaniu pacjenta rosnącym trudnościom w utrzymaniu pozycji stojącej, takim jak usunięcie informacji wzrokowych poprzez zamknięcie oczu (próba Romberga), informacji somatosensorycznych poprzez stanie na pianie (mCTSIB), lub zwężenie pola podstawy i limitu stabilności poprzez ustawienie stóp w pozycji pięta-palec. Próby te dostarczają informacji o odruchu przedsionkowo-rdzeniowym, jednak bez użycia dodatkowych urządzeń pozostają badaniem subiektywnym.

Jedną z powszechnie stosowanych obiektywizacji tych metod jest posturografia, która opiera się na śledzeniu przemieszczenia środka nacisku stóp na podłoże w dwuwymiarowej płaszczyźnie. Spośród wielu parametrów wyjściowych w posturografii najczęściej analizowane są prędkość, przyspieszenie lub całkowita długość ścieżki wyznaczonej przez środek ciężkości(2,3). Takie podejście umożliwia ilościowy pomiar zdolności pacjenta do utrzymania stabilnej pozycji w różnych warunkach. Na przestrzeni lat posturografia ewoluowała od standardowej posturografii statycznej (SP), która jest wykorzystywana do oceny w warunkach statycznych, do bardziej złożonych urządzeń, takich jak skomputeryzowana posturografia dynamiczna (CDP ang. Computerized Dynamic Posturography). CDP umożliwia badaczom ocenę układu równowagi w warunkach dynamicznych – przy ruchu podłoża oraz zmieniającym się otoczeniu. Wadą CDP jest wysoki koszt, który ogranicza jego zastosowanie kliniczne do nielicznych ośrodków uniwersyteckich (4).

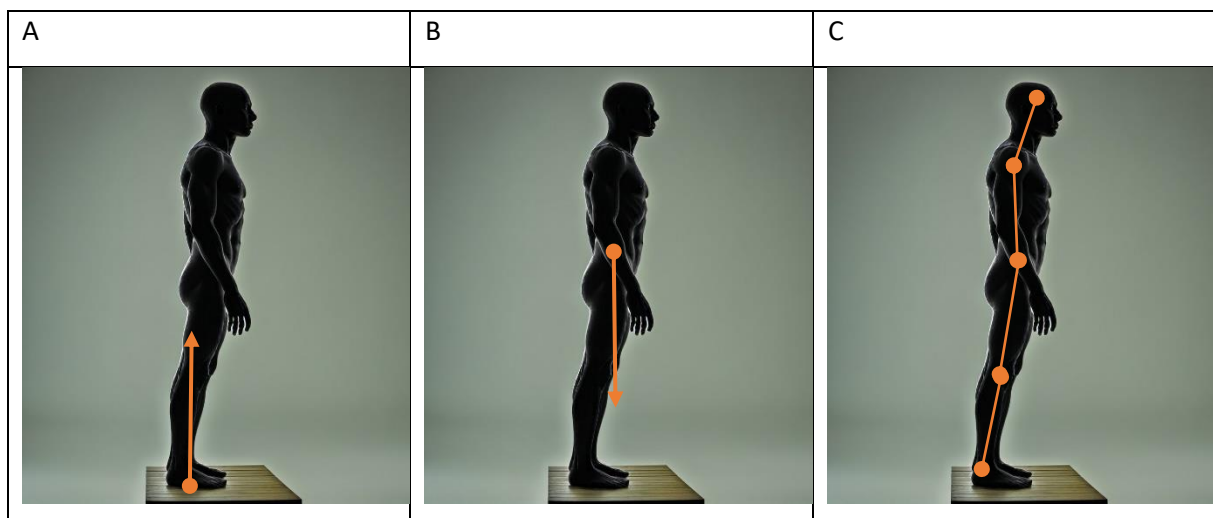
W ostatnich latach obserwuje się znaczny rozwój posturografii mobilnej, opartej na inercyjnych czujnikach rejestrujących swoje położenie w przestrzeni trójwymiarowej, która umożliwia wykonanie zarówno standardowych testów statycznych, jak i rejestrację biosygnatów układu równowagi w trakcie wykonywania czynności dynamicznych, takich jak chodzenie czy obrót (5,6).



Rycina 1. Dostępne metody rejestracji biosygnatów posturalnych A. Posturografia Statyczna (<https://www.bertec.com/products/portable-essential>) B. Posturografia Dynamiczna

(<https://www.bertec.com/products/cdp-ivr>) C. Posturografia Mobilna (Źródło grafiki – Praca własna)(7)

Wartości mierzone przez każdą z metod nie są jednak porównywalne ze sobą w sposób bezpośredni, głównie za sprawą odrębnego modelu biomechanicznego tłumaczącego położenie mierzonego parametru względem środka ciężkości człowieka. W najprostszym modelu odwróconego wahadła za analizowany parametr przyjmuje się środek nacisku na podłoże (COP ang. Center of Pressure), jest to domyślnie rejestrowany parametr dla posturografii statycznej i dynamicznej. Użycie czujników inercyjnych pozwala na umiejscowienie punktu pomiarowego bliżej bezpośredniego środka ciężkości człowieka (COM ang. Center of Mass). Zastosowanie większej liczby czujników inercyjnych umieszczonych na kończynach, plecach bądź głowie pozwala na instrumentalne określenie przemieszczenia tych części ciała oraz stworzenie złożonych modeli wielosegmentowych. (8,9)



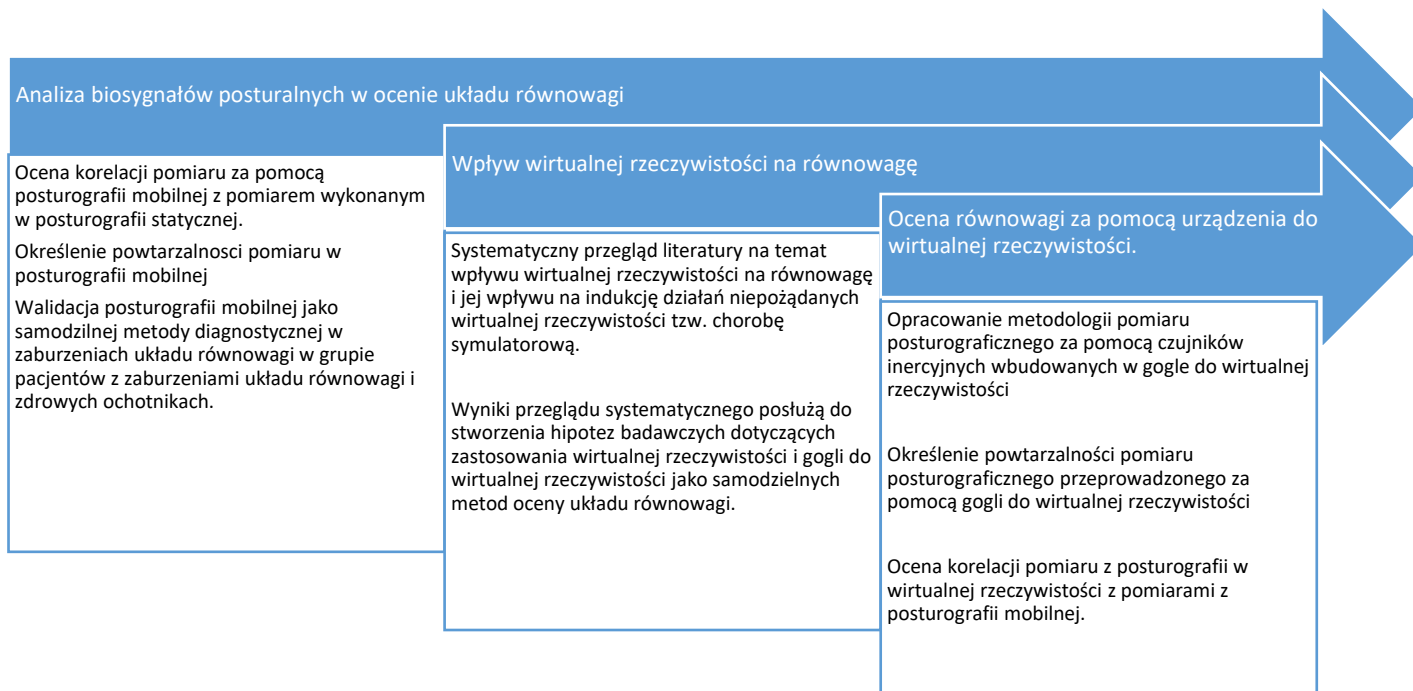
Rycina 2. Modele biomechaniczne równowagi A. Środek nacisku na podłoże B. Środek ciężkości C. Model wielosegmentowy (Źródło grafiki – praca własna)

Posturografia oznacza się jednak niską czułością i swoistością jako samodzielna metoda różnicowania osób zdrowych od pacjentów z zawrotami głowy, głównie za sprawą niejednorodności populacji chorych z zawrotami głowy. Dodanie do posturografii dodatkowych bodźców zaburzających czucie somatosensoryczne lub informacje wzrokowe może zwiększyć czułość i swoistość badania posturograficznego (10).

Ograniczenia wspomnianych wyżej metod – wysoki koszt zakupu wyspecjalizowanych urządzeń, ograniczenie dostępności do wyspecjalizowanych placówek uniwersyteckich oraz trudność w interpretacji wyników zaawansowanych badań układu równowagi skłoniły mnie do opracowania obiektywnej metody oceny układu równowagi, która mogłaby zaoferować pomiar instrumentalny w

trakcie wykonywania czynności dynamicznych, a jednocześnie być dostępna i łatwa w interpretacji klinicznej.

Rycina 3. Ścieżka procesu badawczego prezentowania w dziele naukowym



Prace stanowiące dzieło naukowe koncentrowały się wokół zagadnień:

1. Analiza biosygnarów posturalnych w ocenie układu równowagi
2. Ocena wpływu wirtualnej rzeczywistości na układ równowagi u pacjentów bez zaburzeń równowagi
3. Zastosowanie posturografii w wirtualnej rzeczywistości jako samodzielnej metody do oceny układu równowagi

4.3.2 Omówienie osiągniętych wyników dzieła naukowego

Analiza biosygnarów posturalnych w ocenie układu równowagi

Posturografia mobilna jest metodą stosunkowo nową, ale uzyskującą międzynarodowe zainteresowanie badaczy. Ze względu na opracowywanie przez poszczególne zespoły badaczy odrębnych urządzeń i metodologii pomiarów wciąż nie ma ustalonych jednolitych standardów przeprowadzania badania. Dodatkowo brak jest w dostępnej literaturze konsensusu dotyczącego

metod i analiz biosygnatów posturalnych pozyskiwanych z czujników inercyjnych. Ponadto, wprowadzenie nowej metody badawczej wymaga przeprowadzenia jej walidacji w sposób systematyczny poprzez określenie powtarzalności pomiaru oraz czułości i swoistości w wykrywaniu zaburzeń układu równowagi w badaniu klinicznym na ludziach.

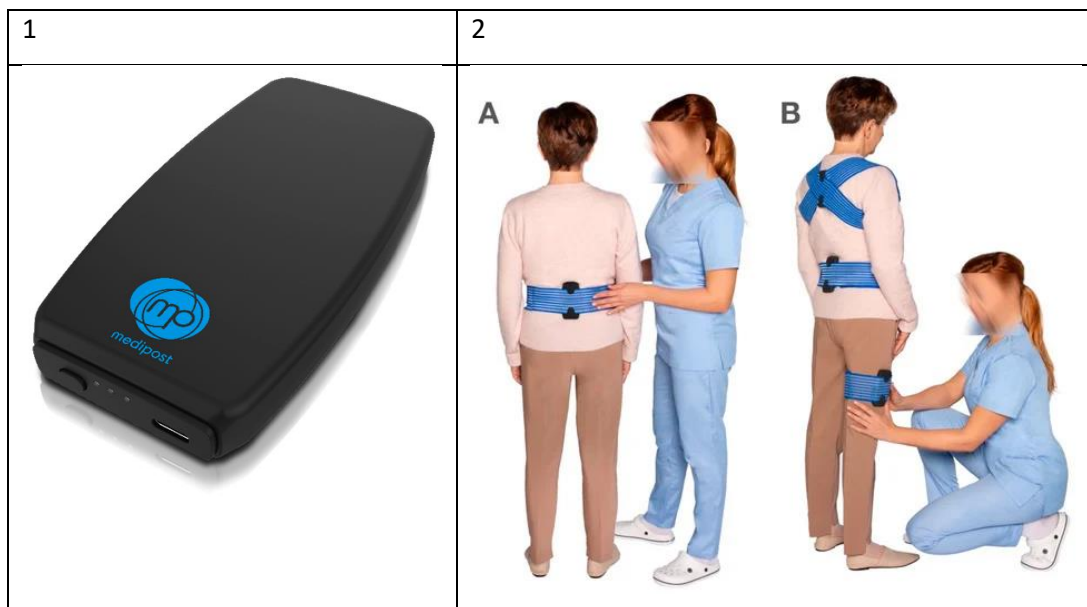
Przeprowadzone badania były rozwinięciem poprzednich zadań realizowanych w ramach projektu Innoreh (STRATEGMED 2/266299/19/NCBR/2016).

W publikacji „Utility of the Novel MediPost Mobile Posturography Device in the Assessment of Patients with a Unilateral Vestibular Disorder” stanowiącą pracę nr 1 w dziele naukowym sformułowano dwa pytania badawcze:

1. Jaka jest zgodność pomiaru między posturografią mobilną, a posturografią statyczną?
2. Jaka jest przydatność posturografii mobilnej w diagnostyce pacjentów z jednostronnym obwodowym deficytem układu równowagi?

Prace badawcze przeprowadzono z wykorzystaniem urządzenia Medipost zaprojektowanego przez nasz zespół badawczy. Medipost jest przenośnym, zasilanym baterią urządzeniem kontrolowanym przez mikroprocesor z wbudowanym 3-osiowym czujnikiem inercyjnym na który składa się akcelerometr, żyroskop oraz magnetometr. Urządzenie badawcze łączy się bezprzewodowo z siecią WiFi. Próbkę danych zawierających informacje z czujnika inercyjnego we wszystkich 3-osiach ruchu w przestrzeni przekazywane są w częstotliwości 20 próbek na sekundę. Celem obliczenia pozycji urządzenia w przestrzeni trójwymiarowych i kalkulacji prędkości kątowej zastosowano algorytm Madwicka, będący rozwiązaniem typowo stosowanym w obliczaniu danych przestrzennych z czujników inercyjnych takich jak żyroskopy lub akcelerometry (11) (12).

Rycina 4. 1. Urządzenie Medipost – urządzenie do przeprowadzania pomiaru z zastosowaniem posturografii mobilnej widocznym portem USB do ładowania danych oraz wskaźnikiem stanu baterii na krótszym boku urządzenia. 2A. Urządzenie Medipost zamocowane w okolicy lędźwiowej dla pomiaru jednoczujnikowego, 2B. Kilka urządzeń Medipost połączonych w pętli radiowej do pomiaru wieloczujnikowego. (Źródło grafiki – Praca własna “Utility of the Novel MediPost Mobile Posturography Device in the Assessment of Patients with a Unilateral Vestibular Disorder”, Sensors, 2022)



Do grupy badanej włączono 38 pacjentów po przebyłym jednostronnym, ostrym deficycie obwodowym układu równowagi udokumentowanym badaniem VNG, który wystąpił nie później, niż 4 tygodnie przed włączeniem do badania. Grupę kontrolną stanowiło 65 zdrowych ochotników, u których przeprowadzono badanie VNG oraz badania kwestionariuszowe i wykluczono przebyte choroby układu przedsionkowego oraz choroby współistniejące, mogące wpływać na wynik pomiaru.

Aby oszacować liczebność grupy badanej wcześniej przeprowadzono eksperymentalne badanie kliniczne z grupą 5 zdrowych ochotników oraz 5 pacjentów po przebyłym ostrym, jednostronnym deficycie obwodowego układu równowagi.

Metodologia badania obejmowała jednoczasowy pomiar za pomocą posturografii mobilnej (wykorzystano urządzenie Medipost) oraz posturografii statycznej (wykorzystano posturograf NeuroCom® Static Balance Master posturography [NeuroCom® International Inc., Clackmas, OR, USA]).

Pacjenci stojąc na posturografie statycznym z przymocowanym w odcinku lędźwiowym czujnikiem inercyjnym (Ryc. 4-2A) wykonywali szereg prób statycznych ujętych w protokole mCTSIB:

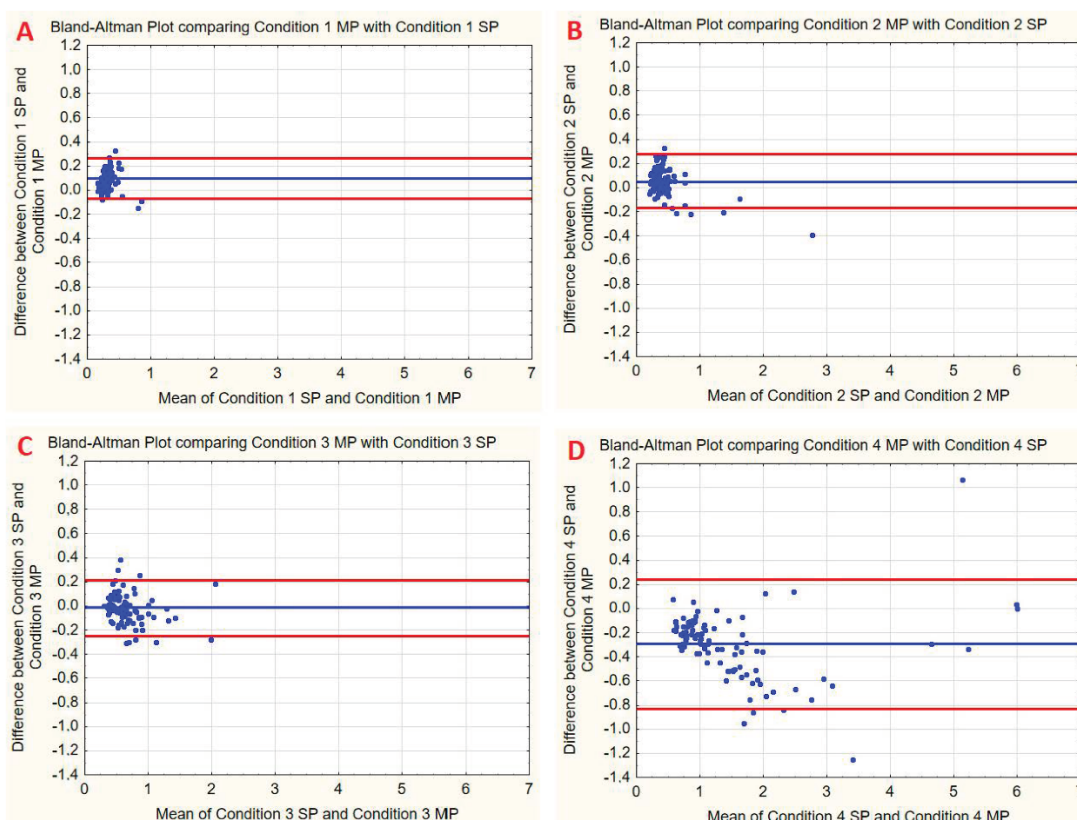
1. Stanie obunóż z oczami otwartymi
2. Stanie obunóż z oczami zamkniętymi
3. Stanie obunóż z oczami otwartymi na macie piankowej umieszczonej na posturografie
4. Stanie obunóż z oczami zamkniętymi na macie piankowej umieszczonej na posturografie

Wszystkie próby powtórzono 3-krotnie, każda trwała 10 sekund. Do dalszej analizy użyto średniej prędkości kątowej zarejestrowanej przez posturoografię mobilną oraz prędkości środka nacisku na podłoże zarejestrowanej przez posturoografię statyczną.

Aby odpowiedzieć na pierwsze pytanie badawcze przeprowadziłem analizę z zastosowaniem współczynnika korelacji wewnątrzklasowej po przekształceniu wartości podlegających rozkładowi nienormalnemu za pomocą transformacji Box-Cox. Współczynnik korelacji wewnątrzklasowej (ICC ang. Interclass Correlation Coefficient) został zinterpretowany zgodnie z wartościami zaproponowanymi przez Koo i wsp. (13)

Dla prób 2-4 analiza ICC wykazała doskonałą zgodność wewnątrzklasową z $ICC > 0.9$, z wyjątkiem próby 1 (oczy otwarte, podłoże stabilne) gdzie ICC wynosił 0.685 co wskazuje na umiarkowaną zgodność pomiaru. Średnie różnice między pomiarem posturografii mobilnej oraz pomiarem posturografii statycznej przedstawiono również na wykresach Blanda-Altmana.

Rycina 5. Wykresy Blanda-Altmana dla średniej różnicy pomiaru prędkości kątowej przy użyciu dwóch metod: mobilnej posturografii z MediPost i statycznej posturografii. Niebieskie linie oznaczają odchylenie, a czerwone granice zgodności. (A) mCTSIB próba 1. (B) mCTSIB próba 2. (C) mCTSIB próba 3. (D) mCTSIB próba 4. SP - Posturografia statyczna. MP - Posturografia mobilna z MediPost. (Źródło grafiki – Praca własna „Utility of the Novel MediPost Mobile Posturography Device in the Assessment of Patients with a Unilateral Vestibular Disorder”, Sensors, 2022)



Aby odpowiedzieć na drugie pytanie badawcze przeanalizowałem krzywe ROC (ang. Receiver Operator Curve) z uwzględnieniem indeksu Youdena oraz pola pod krzywą AUC (ang. Area Under Curve), na podstawie których obliczono czułość i swoistość obu metod.

Spośród wszystkich warunków mCTSIB w analizie krzywej ROC, próba 4 stanowiła najdokładniejszy czynnik różnicujący, z wartościami AUC wynoszącymi 0,939 dla posturografii statycznej i 0,953 dla MediPost. Próba ta wykazała również najwyższą czułość, swoistość, PPV i NPV, odpowiednio 86,4%, 87,7%, 80%, 90,5% dla SP i 92,1%, 84,6%, 77,8%, 94,8% dla MediPost. Różnica między wartościami AUC dla obu metod wynosiła 0,014 na korzyść MediPost; różnica ta nie została uznana za istotną statystycznie ($p = 0,162$).

Warunek 1 w teście mCTSIB prezentował najgorszą wydajność diagnostyczną z najmniejszymi wartościami AUC wynoszącymi 0,679 dla SP i 0,573 dla MediPost; różnica między wartościami AUC dla obu metod wynosiła 0,106. Chociaż wartość AUC dla SP była wyższa, nie była ona istotna statystycznie ($p = 0,067$). We wszystkich próbach mCTSIB nie było statystycznie istotnych różnic między wartościami AUC dla krzywych ROC, co sugeruje, że metody są klinicznie równoważne.

Najważniejszymi efektami pracy „Utility of the Novel MediPost Mobile Posturography Device in the Assessment of Patients with a Unilateral Vestibular Disorder” było, że wyniki zastosowania posturografii mobilnej są statystycznie zgodne z wynikami uzyskanymi z posturografii statycznej. Pomiar cechowała wysoka czułość i swoistość tej metody badania przy zastosowaniu protokołu mCTSIB, szczególnie w próbie 4 (oczy zamknięte, stanie na piance) w której usunięto zarówno bodźce wizualne jak i częściowo informacje z czucia proprioceptywnego. Ten wynik dodatkowo wspiera hipotezę, iż usunięcie dodatkowych informacji sensorycznych i wprowadzenie bodźców zakłócających wpływa na zwiększenie czułości i swoistości badania posturograficznego, co zostało wykorzystane w dalszych pracach nad posturografią w wirtualnej rzeczywistości.

W kolejnej pracy „Instrumental and Non-Instrumental Measurements in Patients with Peripheral Vestibular Dysfunctions” stanowiącej dzieło naukowe podjęto próbę wyjaśnienia korelacji między wynikami funkcjonalnych testów dynamicznych, kwestionariuszy klinicznych oceniających nasilenie zawrotów głowy i zaburzeń równowagi oraz ich związku z biosygnalami posturalnymi rejestrowanymi przez posturografię mobilną.

Najbardziej powszechne metody badania odruchów przedsionkowo-rdzeniowych, czyli próby statyczne (np. próba Romberga) i dynamiczne (np. Próba Unterbergera, próba Babińskiego-Weilla) nie pozwalają na ilościową ocenę zaburzeń równowagi ze względu na swój dychotomiczny charakter (próba pozytywna lub próba negatywna). Aby wprowadzić pewną obiektywizację w ocenie pacjentów oraz umożliwić ilościową ocenę równowagi przeprowadza się standaryzowane testy funkcjonalne równowagi dynamicznej. Pośród najczęściej używanych w praktyce klinicznej wymienić należy próbę TUG (ang. Timed up and go), DGI (ang. Dynamic Gait Index), BBS (ang. Berg Balance Scale), test Tinetti lub test Functional Reach(14,15).

We wspomnianych próbach badany wykonuje szereg zadań z góry ustalony przez dany test, badacz natomiast ocenia wykonanie poszczególnych zadań w skali punktowej. Uzyskana punktacja pozwala na klasyfikację chorego do grupy zwiększonego ryzyka upadku. Testy te nie wymagają specjalistycznego wyposażenia, najczęściej potrzebne jest podstawowe wyposażenie gabinetu – stoper, krzesło i mata piankowa.

Aby ocenić nasilenie dolegliwości odczuwanych przez pacjenta z zaburzeniami równowagi i zawrotami głowy stosowane są kwestionariusze kliniczne celowane do konkretnych grup pacjentów. Najczęściej stosowany kwestionariusz DHI (ang. Dizziness Handicap Inventory) bada wpływ zaburzeń równowagi i zawrotów głowy na podstawowe domeny życia codziennego. Maksymalny wynik wynosi 100 punktów (poważne, umiarkowane i łagodne upośledzenie odpowiednio 61-100, 31-60 i 0-30 punktów), a minimalny 0. Istnieją trzy podskale: Fizyczna (P), Funkcjonalna (F) i Emocjonalna (E). DHI został pierwotnie napisany w języku angielskim, został przetłumaczony na wiele języków, np. polski, niemiecki, norweski, brazylijski i hiszpański (16). Innym powszechnie stosowanym kwestionariuszem jest Skala Objawów Zawrotów Głowy (Vertigo Symptom Scale), opublikowana przez Yardleya w 1992 roku. Celem tej skali jest pomiar częstości występowania objawów zaburzeń równowagi i zawrotów głowy oraz objawów autonomicznych/lękowych. Obecnie stosuje się skróconą formę VSS (VSS-sf). 15-punktowa skala VSS-sf jest podzielona na 2 podskale: zawroty głowy-równowaga (VSS-V), która odnosi się do objawów przedsionkowych, oraz objawy autonomiczne-lęk (VSS-A). Ogólny wynik ≥ 12 punktów oznacza ciężkie zawroty głowy/vertigo(17). Podsumowanie wspomnianych testów funkcjonalnych i kwestionariuszy przedstawiono w Tabeli I.

Tabela I. Podsumowanie kwestionariuszy klinicznych i testów funkcjonalnych wykorzystywanych w badaniu.

Test	Zastosowanie	Liczba zadań	Miara	Całkowita punktacja	Interpretacja
The Timed Up and Go Test (TUG)	Dynamiczna ocena równowagi, ocena ryzyka upadku	1	czas (Sekundy)	-	>12 s zwiększone ryzyko upadku
Dynamic Gait Index (DGI)	Dynamiczna ocena równowagi, ocena ryzyka upadku	8	0–3 (Punkty)	24	≤19/24 zwiększone ryzyko upadku
Berg Balance Scale (BBS)	Stacyczna i dynamiczna ocena równowagi, ocena niepełnosprawności związanej z zaburzeniami równowagi	14	0–4 (Punkty)	56	0–20—niezdolny do samodzielnego poruszania się; 21–40—porusza się w asyście; 41–56 porusza się samodzielnie
The Tinetti test	Stacyczna i dynamiczna ocena równowagi, ocena ryzyka upadku	16	0–1; 0–2 (Punkty)	28	Ryzyko upadku ≤ 18—wysokie; 19–23—średnie; ≥24—niskie
The Functional Reach test (FR)	Dynamiczna ocena równowagi, ocena ryzyka upadku	1	centymetry	-	≥25 cm—niskie ryzyko upadku, 15–24 cm—ryzyko upadku 2-krotnie większe niż populacyjne

Kwestionariusz Diziness Handicap Inventory (DHI)	Wpływ zaburzeń równowagi na czynności życia codziennego	25	0-4 (Punkty)	100	0–30—ciężkie zaburzenia równowagi; 31–60—umiarkowane zaburzenia równowagi; 61–100 łagodne zaburzenia równowagi
Kwestionariusz Vertigo Symptom Scale – short form (VSS-sf)	Wpływ zawrotów głowy na czynności życia codziennego	15	punkty	60	>12 punktów znaczne odczuwalne zawroty głowy

Aby ułatwić ocenę układu równowagi poprzez analizę parametrów posturograficznych, ale również potencjalną predykcję wartości skal subiektywnych zbadalem korelację poszczególnych skal z oceną wyników posturografii mobilnej na grupie pacjentów z zaburzeniami równowagi.

Badanie kliniczne obejmowało grupę 40 pacjentów z jednostronną dysfunkcją błędnika. Kryterium włączenia do badania był brak samoistnej kompensacji i utrzymujące się zaburzenia równowagi do miesiąca od wystąpienia objawów, co potwierdzano badaniem VNG.

Pacjenci wypełniali kwestionariusze kliniczne VSS-sf oraz DHI w wersji polskiej, następnie wykonywali testy funkcjonalne TUG, DGI, BBS, test Tinetti oraz test FR, które oceniane były zgodnie z przyjętą punktacją. Ostatnim pomiarem były próby statyczne ujęte w protokole mCTSIB wykonywane z zastosowaniem posturografii mobilnej:

1. Stanie obunóż z oczami otwartymi
2. Stanie obunóż z oczami zamkniętymi
3. Stanie obunóż z oczami otwartymi na macie piankowej umieszczonej na posturografie
4. Stanie obunóż z oczami zamkniętymi na macie piankowej umieszczonej na posturografie

Pacjenci byli następnie kierowani na cykl rehabilitacji przedsionkowej i oceniani ponownie.

W ocenie obiektywnej za pomocą posturografii mobilnej wykazano zmniejszenie prędkości kątowej COM we próbach 2-4 mCTSIB, z największą różnicą widoczną w próbie 4. Nie wykryto istotnych statystycznie różnic średniej prędkości kątowej COM badanych przed i po terapii przedsionkowej w najmniej wymagającej próbie statycznej – próbie 1 (stanie na stabilnym podłożu z oczami otwartymi). Te wnioski po raz kolejny wzmocniły budowanie hipotezy o zwiększeniu czułości badania posturograficznego przy zastosowaniu konfliktujących bodźców sensorycznych, które będzie rozwijane w kolejnych pracach cyklu.

Przeprowadzono również analizę macierzy korelacji kwestionariuszy, testów funkcjonalnych oraz wyników pomiaru posturografii mobilnej. Istotną klinicznie korelację o umiarkowanej sile wykazał test TUG oraz pomiar posturografii mobilnej. Całkowita punktacja z testów Tinnetti, BBS oraz DGI nie wykazywała istotnego związku z biosygnalami posturalnymi rejestrowanymi przez posturoografię mobilną.

Wykazano pozytywną korelację poprawy stabilności pacjenta rozumianej jako zmniejszenie prędkości kątowej środka ciężkości przed i po rehabilitacji przedsionkowej, z poprawą w odczuwaniu dolegliwości subiektywnych przedstawionej jako całościowa punktacja kwestionariuszy DHI i VSS-sf. Wniosek ten pozwala na stwierdzenie, że zmniejszenie prędkości kątowej w badaniu posturograficznym może być uznawane za obiektywny wskaźnik poprawy dolegliwości odczuwanych przez pacjenta z zaburzeniami równowagi.

Ocena wpływu wirtualnej rzeczywistości na układ równowagi u pacjentów bez zaburzeń równowagi

W prezentowanej wcześniej analizie biosygnatów posturalnych (Praca „Utility of the Novel MediPost Mobile Posturography Device in the Assessment of Patients with a Unilateral Vestibular Disorder”) w ocenie układu równowagi stwierdzono, że warunki ograniczonej informacji sensorycznej z propriocepcji i narządu wzroku powodują wzrost czułości i swoistości badania metodą posturografii mobilnej. Posiadając już doświadczenie z zastosowania prostych form wirtualnej rzeczywistości w rehabilitacji pacjentów z zawrotami głowy (Cykl opublikowanych prac naukowych stanowiących moją rozprawę doktorską pt. „Ocena rehabilitacji pacjentów z zawrotami głowy i zaburzeniami postawy za pomocą Techniki Wirtualnej Rzeczywistości”) postanowiłem zbadać wpływ wirtualnej rzeczywistości na układ równowagi badanych.

Systematyczny przegląd literatury dotyczący słów kluczowych „posturography” oraz „virtual reality” stanowi element dzieła naukowego opublikowany pt. „Virtual Reality-A Supplement to Posturography or a Novel Balance Assessment Tool?”. W tej pracy naukowej oparto się na kryteriach PRISMA do prowadzenia przeglądów systematycznych oraz baz literaturowych PUBMED oraz Scopus. Wstępne wyniki przeglądu ujawniły 89 publikacji, po weryfikacji abstraktów prac do ostatecznego przeglądu

włączono 21 publikacji poświęconych ocenie posturograficznej pacjentów poddanych wirtualnej rzeczywistości.

Przegląd literatury wykazał, że wpływ wirtualnej rzeczywistości na obiektywne pomiary układu równowagi nie został dotychczas dostatecznie dokładnie poznany. Przeprowadzono nieliczne badania poświęcone tej tematyce. Pośród 21 prac uwzględnionych w przeglądzie 13 prac faktycznie odnosiło się do komputerowej posturografii dynamicznej (CDP), w której wymieniono statyczne obrazy rozmieszczone wokół posturografu na gogle do wirtualnej rzeczywistości. Badacze nie badali jednak wpływu wirtualnej rzeczywistości na układ równowagi, a skupili się na ocenie samej posturografii dynamicznej jako metody badawczej.

Ważnym badaniem była praca Wittstein i wsp. (18) w którym przeprowadzono ocenę układu równowagi z zastosowaniem konwencjonalnej posturografii statycznej oraz gogli do wirtualnej rzeczywistości. Tą samą grupę pacjentów zbadano również przy pomocy komputerowej dynamicznej posturografii. W badaniu brali udział zdrowi ochotnicy. Wyniki badania wykazały umiarkowaną zgodność pomiaru za pomocą obu metod badawczych (ICC między 0.5-0.75 dla poszczególnych prób).

Zespół Marchetto i wsp. (19) wykorzystał z kolei czujniki inercyjne wbudowane w gogle do wirtualnej rzeczywistości celem pozyskania informacji o prędkości kątowej punktu pomiarowego w przestrzeni trójwymiarowej. W badaniu tym porównano pozyskane wartości prędkości kątowej z punktu zlokalizowanego na głowie pacjenta (gogle VR) z prędkością COP odczytaną z posturografii statycznej. W trakcie oceny posturograficznej pacjent wykonywał zadania z protokołu mCTSIB, podobnie jak w pracach „Utility of the Novel MediPost Mobile Posturography Device in the Assessment of Patients with a Unilateral Vestibular Disorder” oraz „Instrumental and Non-Instrumental Measurements in Patients with Peripheral Vestibular Dysfunctions.” W badaniu potwierdzono korelację pomiaru z czujników inercyjnych gogli z pomiarem posturografii statycznej.

Dwa przedstawione powyżej badania znacząco wpłynęły na sformowanie mojej ostatniej hipotezy badawczej dotyczącej zastosowania wirtualnej rzeczywistości jako samodzielnej metody oceny układu równowagi. Brak badań poświęconych wpływowi bodźca w wirtualnej rzeczywistości na pomiar posturograficzny stanowił kolejny element do zaplanowania dalszych badań.

Zastosowanie posturografii w wirtualnej rzeczywistości jako samodzielnej metody do oceny układu równowagi

Hipotezę sformowaną w toku przeglądu systematycznego przeprowadzonego w pracy „Virtual Reality- A Supplement to Posturography or a Novel Balance Assessment Tool?” zweryfikowano poprzez

zaplanowanie prospektywnego badania klinicznego na zdrowych ochotnikach, w którym oceniono zastosowanie współczesnych gogli do wirtualnej rzeczywistości jako samodzielnej metody do pomiaru biosygnatów posturalnych. Wykorzystując wnioski i doświadczenie z pracy „Utility of the Novel MediPost Mobile Posturography Device in the Assessment of Patients with a Unilateral Vestibular Disorder” oraz “Virtual Reality-A Supplement to Posturography or a Novel Balance Assessment Tool?” połączono posturoografię mobilną i posturoografię w wirtualnej rzeczywistości, aby stworzyć przystępne narzędzie do przesiewowej oceny układu równowagi.

Prace badawcze prezentowane w publikacji „The effect of Immersive Virtual Reality on balance: an exploratory study on the feasibility of head-mounted displays for balance evaluation.”, stanowiącej ostatni element dzieła naukowego, prowadzone były w ścisłej współpracy z zespołem Politechniki Łódzkiej, który odpowiadał za opracowanie oprogramowania do zarządzania środowiskiem wirtualnym oraz przetwarzania danych z czujników inercyjnych gogli do wirtualnej rzeczywistości i posturografii mobilnej.

W toku prac stworzono autorskie oprogramowanie do posturografii w wirtualnej rzeczywistości. Opracowane rozwiązanie opiera się na dwóch kluczowych urządzeniach elektronicznych. Pierwszym z nich jest wyświetlacz montowany na głowie (HMD ang. Head Mounted Display), odpowiedzialny za immersję użytkownika w wirtualnym środowisku.

W badaniu wykorzystano urządzenie Meta Quest 2 HMD (Meta, USA) ze względu na jego dostępność i przystępną cenę, co spełniało założenia projektowe. Meta Quest 2 jest całkowicie autonomiczny, co oznacza, że posiada wszystkie komponenty niezbędne do niezależnej obsługi immersyjnej wirtualnej rzeczywistości przy jednoczesnym dokładnym pozycjonowaniu urządzenia w przestrzeni trójwymiarowej. Jednocześnie system jest bezprzewodowy co obiektywizuje pomiary nie generując zakłóceń.

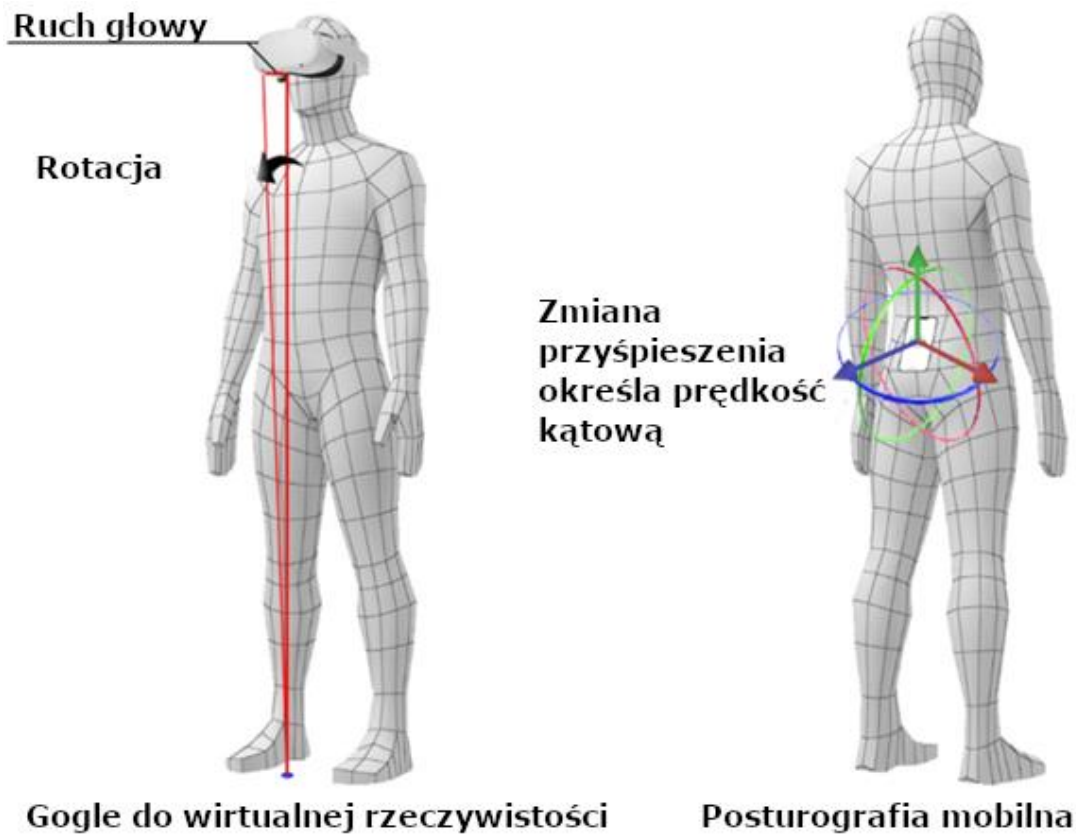
System śledzenia ruchu o sześciu stopniach swobody integruje pozycjonowanie optyczne czterech kamer na podczerwień względem otoczenia użytkownika, a jego precyzję zwiększają dodatkowe czujniki inercyjne, takie jak żyroskopy i akcelerometry. Zastosowano więc rozwiązanie techniczne zbliżone do posturografii mobilnej przedstawionej w pracy „. Utility of the Novel MediPost Mobile Posturography Device in the Assessment of Patients with a Unilateral Vestibular Disorder” oraz “Instrumental and Non-Instrumental Measurements in Patients with Peripheral Vestibular Dysfunctions”, ale korygowane o dane z pozycjonowania optycznego z system kamer wbudowanych w gogle.

Zastosowanie wbudowanych czujników HMD umożliwia rejestrowanie ruchu użytkownika oraz ocenę biosygnatów równowagi, wobec czego pozwala na obiektywny pomiar funkcjonowania odruchów

przedśionkowo-rdzeniowych. Dane te obejmują parametry takie jak prędkość kątowna lub rzut pozycji HMD na płaszczyznę podłogi, umożliwiając ocenę stabilności postawy użytkownika podczas testów. Aby zwiększyć dokładność pomiaru i usunąć zakłócenia wynikające z ewentualnego nierównego założenia gogli średnia projekcja pozycji użytkownika w pierwszych 3 s pomiaru jest punktem odniesienia dla prędkości kątowej sylwetki użytkownika.

Drugim urządzeniem jednocześnie rejestrującym był smartfon z systemem operacyjnym Android, który posłużył do zapisu danych posturografii mobilnej. Smartfon wyposażony był w czujniki inercyjne pod postacią akcelerometrów, żyroskopów i magnetometrów. Urządzenie zostało zamocowane w okolicy lędźwiowej. Możliwe niedokładności położenia smartfonu w okolicy lędźwiowej były kompensowane przez średni kierunek siły grawitacji określony w pierwszych 3 sekundach sesji pomiarowej. Do określenia prędkości kątowych wykorzystano wyłącznie odczyty z wieloosiowego akcelerometru. Metodologia pomiaru zbliżona jest w swojej zasadzie to przedstawionej w pracy „Instrumental and Non-Instrumental Measurements in Patients with Peripheral Vestibular Dysfunctions”, przy czym zamiast dedykowanego urządzenia medycznego, użyto powszechnie dostępnego modelu smartfonu, co spełniało założenia projektowe stworzenia taniej i przystępnej metody badania przesiewowego.

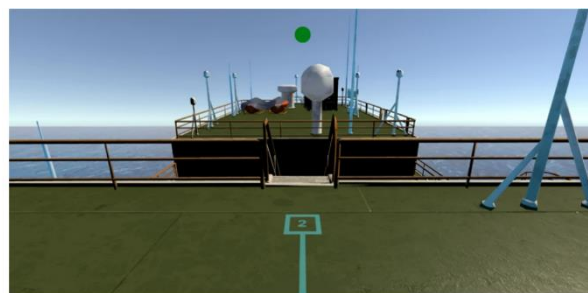
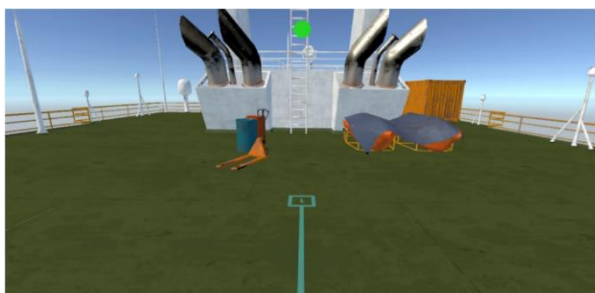
Rycina 6. Schemat lokalizacji czujników inercyjnych i określenia ich położenia w przestrzeni. (Źródło – praca własna – “The effect of Immersive Virtual Reality on balance: an exploratory study on the feasibility of head-mounted displays for balance evaluation.”)



Oba urządzenia były obsługiwane z panelu kontrolnego w przeglądarce internetowej komputera, w którym badacz miał możliwość uruchomienia pomiaru dla poszczególnych prób posturograficznych oraz zmiany parametrów środowiska wirtualnego, co przedstawiono na Rycinie 7. Panel dostępny jest na każdym urządzeniu wyposażonym w przeglądarkę internetową i pozwala na sterowanie urządzeniami zarejestrowanymi w tej samej sieci bezprzewodowej. Dane przechowywane były w bezpiecznej chmurze danych.

Środowisko wirtualnej rzeczywistości w badaniu przedstawiało średniej wielkości statek dryfujący po otwartym morzu. Statek jest otoczony wodą, z wyraźną linią horyzontu. Pochylenie statku względem linii horyzontu wywołuje uczucie bujania na statku.

Rycina 7. W górnych panelach ryciny przedstawiono zdjęcia ze środowiska wirtualnego wygenerowanego na potrzeby badania – statku transportowego na otwartym morzu. Turkusowa ścieżka na ziemi stanowi linię referencyjną dla przeprowadzenia testu wirtualnego TUG. Dolny panel ryciny przedstawia zdjęcie oprogramowania do kontroli pomiaru posturograficznego oraz parametrów środowiska wirtualnego. (Źródło grafiki – praca własna „The effect of Immersive Virtual Reality on balance: an exploratory study on the feasibility of head-mounted displays for balance evaluation.”)



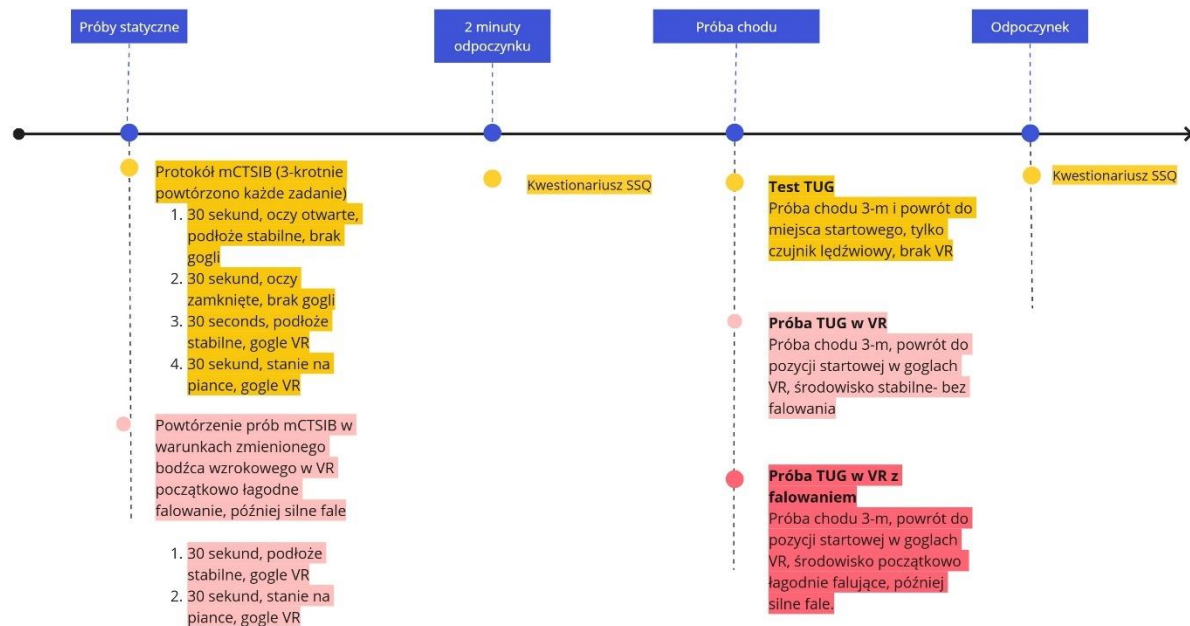
Posturography - control panel



Pierwszy etap badania w wirtualnej rzeczywistości skupiał się na ocenie równowagi w próbach statycznych. Procedura pomiarowa została zainicjowana po prawidłowym umieszczeniu pacjenta w zaznaczonym obszarze, co było potwierdzone sygnałami wizualnymi i dźwiękowymi (zielone światło w górnej części ekranu). Badacz korzystał z aplikacji zsynchronizowanej z HMD, która mogła zmieniać nachylenie, okres i częstotliwość ruchu statku na falach w zakresie od 0 (brak poczucia ruchu) do 70 (poczucie silnego sztormu).

W trakcie pierwszego etapu badań pacjent wykonywał czynności wyróżnione w protokole mCTSIB, podobnie jak w pracy „Utility of the Novel MediPost Mobile Posturography Device in the Assessment of Patients with a Unilateral Vestibular Disorder” oraz „Instrumental and Non-Instrumental Measurements in Patients with Peripheral Vestibular Dysfunctions.” przy czym zamiast testu z oczami zamkniętymi wykonywano badanie w goglach przedstawiające obraz statku. Badanie powtórzono 3-krotnie. Pierwsze badanie wykonywano bez iluzji ruchu, kolejne przy odczuciu łagodnego bujania, a ostatnie w odczuciu silnego sztormu na morzu. Schemat badania klinicznego przedstawiono na Rycinie 8.

Rycina 8. Schemat badania klinicznego.



W trakcie badania prowadzono jednoczesowy pomiar posturografii mobilnej (z zastosowaniem smartfonu) oraz posturografii w wirtualnej rzeczywistości (obraz statku w goglach).

Badani wypełniali walidowany na język polski kwestionariusz SSQ (Ang. Simulator Sickness Questionnaire) przed i po badaniu. Kwestionariusz SSQ jest jednym z najczęściej stosowanych kwestionariuszy oceniających dolegliwości związane z chorobą symulatorową. Pozwala na ocenę objawów autonomicznych indukowanych wirtualną rzeczywistością. Kwestionariusz składa się 8 pytań i obejmuje 26 objawów choroby symulatorowej, osoba wypełniająca kwestionariusz ocenia nasilenie dolegliwości w skali 4-stopniowej. Całkowita punktacja kwestionariusza pozwala na określenie stopnia dolegliwości związanych z chorobą symulatorową, a więc objawów nietolerancji środowiska wirtualnego.

W kolejnym etapie badania pacjent zajmował pozycję oznaczoną na Rycinie 7 jako „1”, po zorientowaniu się w przestrzeni środowiska WR na sygnał narratora wykonywał test TUG w wirtualnej rzeczywistości przechodząc do punktu oznaczonego jako „2” i wracając do punktu wyjścia „1”. Długość ścieżki odpowiadała 3m ścieżce dla testu TUG. Test wykonywano trzykrotnie – w spokojnym środowisku WR, w warunkach łagodnego falowania oraz w warunkach silnego sztormu. W trakcie badania prowadzono rejestrację prędkości kątowej za pomocą posturografii mobilnej i w wirtualnej rzeczywistości.

W latach 2023-2024 przeprowadzono badanie kliniczne na 38 pacjentach będących zdrowymi ochotnikami, najmłodszy uczestnik badania miał 19 lat, najstarszy 76. Mediana wieku wynosiła 34 lata.

Dobór uczestników był kontrolowany tak, aby stanowił równomierny rozkład wieku w całej grupie badanej.

Najważniejsze wyniki przeprowadzonego badania podsumowano poniżej:

1. Określono powtarzalność pomiaru oraz zgodność pomiaru za pomocą posturografii w wirtualnej rzeczywistości z czujników inercyjnych w goglach do WR oraz posturografii mobilnej z czujnika łędźwiowego

Podobnie jak w pracy „Utility of the Novel MediPost Mobile Posturography Device in the Assessment of Patients with a Unilateral Vestibular Disorder” wykorzystano współczynnik korelacji wewnątrzklasowej ICC. W pomiarze posturograficznym w wirtualnej rzeczywistości dla prób statycznych powtarzalność była doskonała niezależnie od nasilenia bodźca w wirtualnej rzeczywistości ($ICC > 0.9$). W teście wirtualnym TUG powtarzalność pomiaru znacząco spadała ($ICC 0.527 - 0.713$) co nie było zależne od natężenia bodźca falowego w wirtualnej rzeczywistości.

Zgodność pomiaru obu metod była słaba, co wynika z różnych modeli biomechanicznych w obu metodach posturografii. Posturografia mobilna rejestruje ruch zbliżony do środka ciężkości człowieka, natomiast pomiar w posturografii w wirtualnej rzeczywistości oparty jest na ruchu głowy, która może wykonywać ruchy niezależne od zmiany wychyleń środka ciężkości. Pomiar za pomocą posturografii w wirtualnej rzeczywistości cechował się doskonałą powtarzalnością pomiaru w przeprowadzonych próbach, co może być związane z większym stopniem dokładności danych uzupełnionych o korekcję optyczną kamer. Należy jednak zachować ostrożność przy bezwzględnym porównywaniu wartości prędkości kątowej z lokalizacji na łędźwiach oraz z lokalizacji na głowie pacjenta, gdyż nie jest ona skorelowana.

2. Określono wpływ wirtualnej rzeczywistości na układ równowagi

Podczas szeregu przeprowadzonych w badaniu prób pacjent wykonywał zadania w wirtualnej rzeczywistości stojąc zarówno na podłożu stabilnym, jak i na macie piankowej (zgodnie z protokołem mCTSIB w modyfikacji dla badań w wirtualnej rzeczywistości). Zaobserwowano istotną statystycznie różnicę w analizie biosygnatów posturalnych - średnich wartościach prędkości kątowej rejestrowanej z HMD, która rosła wraz ze wzrostem nasilenia bodźca w wirtualnej rzeczywistości. Wstępnie rejestrowane wartości prędkości kątowej rosły 4.2-krotnie przy łagodnym falowaniu otoczenia, natomiast w warunkach silnego falowania rosły aż 8.8-krotnie. W przypadku usunięcia czucia proprioceptywnego poprzez stanie na piance

obserwowano większą początkową prędkość kątową oraz podobne wzrosty przy dołączeniu wirtualnej rzeczywistości, 3,79-krotny dla łagodnego falowania i 6.7-krotny dla silnego falowania.

Podczas badania dynamicznego – w wirtualnym teście TUG – zaobserwowano, iż pacjent wraz ze wzrostem natężenia bodźca w wirtualnej rzeczywistości wykonuje zadanie wolniej i z większym odchyleniem od linii referencyjnej co znajduje odzwierciedlenie w istotnym statystycznie zmniejszeniu wartości średniej prędkości kątowej w czasie wykonywanego badania.

3. Zbadano tolerancję nowej metody badania

Tylko dwóch uczestników badania zgłosiło wystąpienie objawów autonomicznych po doświadczeniu bodźca w wirtualnej rzeczywistości, co stanowi 5% grupy badanej. Pacjenci uskarżali się na uczucie nudności, pocenie, nadmierne ślinienie i ból głowy który pojawił się po uruchomieniu środowiska wirtualnej rzeczywistości, ale nie uniemożliwił dokończenia badania. Nasilenie objawów zmierzono poprzez 3-krotne wypełnienie kwestionariusza SSQ, w przypadku całej grupy badanej nie zaobserwowano różnic między poszczególnymi punktami pomiarowymi, w przypadku dwóch uczestników którzy zgłosili objawy niepożądane po pierwszej ekspozycji całkowita punktacja SSQ wzrosła z 0 do 119,68, natomiast po kolejnej ekspozycji do 160.082, przy maksymalnej możliwej punktacji w kwestionariuszu polskim 291.72 punktów, co odpowiada umiarkowanym objawom nietolerancji wirtualnej rzeczywistości.

4.3.3. Podsumowanie

Posturografia mobilna, wykonywana za pomocą czujników inercyjnych umożliwia rejestrację biosygnatów posturalnych w sposób porównywalny do dotychczas stosowanej posturografii statycznej. Zastosowanie metody rejestracji poprzez czujniki inercyjne umieszczone na ciele pacjenta umożliwia pomiar w trakcie prób dynamicznych. Opracowane rozwiązanie wykorzystywane jest do dalszych badań nad stworzeniem modelu biomechanicznego równowagi w pracach prowadzonych na Politechnice Łódzkiej (20,21). Posturografia mobilna może zastąpić posturoografię statyczną ze względu na swoje mniejsze rozmiary oraz możliwości prowadzenia pomiarów w ruchu. Czujniki inercyjne wykorzystywane do mobilnego pomiaru posturograficznego mogą być powszechniej stosowane ze względu na niższy koszt i równoważne możliwości diagnostyczne (22), a ich zwiększająca się popularność znajduje odzwierciedlenie w literaturze np. w rehabilitacji pacjentów z zaburzeniami

równowagi (23) lub chorobami neurodegeneracyjnymi (24). Wprowadzanie dodatkowych bodźców, takich jak zaburzenia wizualne lub ruchy głową, zwiększa czułość i swoistość badania posturograficznego (25)

Rozwijając dalej ideę posturografii mobilnej stworzono autorskie oprogramowanie do posturografii wirtualnej rzeczywistości, które nie wymaga dedykowanego urządzenia, a może być zastosowane na dostępnych urządzeniach do VR z przeznaczeniem komercyjnym. Zastosowanie dwóch niezależnych czujników bezprzewodowych umożliwiających rejestrację biosygnatów posturalnych w warunkach wirtualnej rzeczywistości stwarza możliwości dalszego zastosowania tego rozwiązania w diagnostyce osób z zaburzeniami równowagi. Przedstawione rozwiązanie jest jednym z pierwszych tego typu rozwiązań opisanych w literaturze medycznej. W przeglądzie systematycznym z czerwca 2024 r opublikowanym we *Frontiers in Human Neuroscience* opisana przeze mnie metoda posturografii wirtualnej rzeczywistości zostaje wspomniana jako jedna z możliwości oceny równowagi. Opisanie przez nas doświadczenia zostały również wykorzystane przy stworzeniu aplikacji do leczenia klaustrofobii z zastosowaniem immersyjnej wirtualnej rzeczywistości (26) oraz opracowania systemu do rehabilitacji pacjentów (27).

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

5.1 Współpraca z innymi instytucjami naukowymi

1. Współpraca przy projekcie Innoreh (STRATEGMED 2/266299/19/NCBR/2016) realizowanym w latach 2016-2021. Projekt realizowany był jako konsorcjum podmiotów prywatnych oraz publicznych – **Instytutu Medycyny Pracy im. J. Noffera w Łodzi, Katedrą Mikroelektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Łódzkiej** oraz Zakładu Układu Równowagi Uniwersytetu Medycznego w Łodzi. W ramach tego projektu byłem kierownikiem zespołu badawczego z ramienia Uniwersytetu Medycznego w Łodzi w zadaniach WP1 i WP5. W projekcie tym opracowano i walidowano w serii badań klinicznych urządzenie do posturografii mobilnej Medipost(7,28,29). W ramach opracowania wyników projektu powstało 15 publikacji naukowych o łącznym

współczynnika Impact Factor 46,07. Urządzenie jest obecnie w trakcie certyfikacji i wprowadzania na rynek medyczny.

2. W roku 2021 współpracowałem z **Instytutem Mechatroniki i Systemów Informatycznych Politechniki Łódzkiej** jako konsultant - specjalista laryngolog odpowiedzialny za opracowanie wytycznych do scenariuszy na potrzeby Laboratorium VR w ramach realizowanego Projektu „Dostępna Politechnika Łódzka” (POWR.03.05.00-00-A039/20) współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.
3. Współpraca przy opracowaniu oprogramowania do posturografii za pomocą gogli do wirtualnej rzeczywistości. Ten okres współpracy z Politechniką Łódzką przypada na lata 2022-2024, w ramach wspólnych prac badawczych nad opracowaniem metodologii badania układu równowagi przy pomocy posturografii realizowanej w wirtualnej rzeczywistości. Badanie było realizowane przy współpracy trzech podmiotów publicznych: Zakładu Układu Równowagi Uniwersytetu Medycznego w Łodzi, **Instytutu Mechatroniki i Systemów Informatycznych Politechniki Łódzkiej** oraz Kliniki Otolaryngologii Instytutu Centrum Zdrowia Matki Polki w Łodzi. W ramach tej współpracy powstało oprogramowanie do posturografii w wirtualnej rzeczywistości oraz przeprowadzono badanie kliniczne wykazane w opisie osiągnięcia naukowego „The effect of Immersive Virtual Reality on balance: an exploratory study on the feasibility of head-mounted displays for balance evaluation.”

Opis pozostałego dorobku i osiągnięć naukowych powstałych we współpracy z instytucjami krajowymi:

- **Klinika Otolaryngologii i Laryngologii Onkologicznej Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu.** W ramach tej współpracy uczestniczyłem w retrospektywnym badaniu analizującym częstość usznopochodnych powikłań wewnątrzczaszkowych w populacji pacjentów dorosłych. Badanie udokumentowano publikacją
 - Wierzbicka M, Staśkiewicz M, **Rosiak O**, Karmelita-Katulska K, Szyfter W, Gawęcki W. Intracranial otogenic complications in adults: new factors that influenced its onset, frequency and nature. Journal of Otolaryngology - Head & Neck Surgery. 2022 Dec 4;51(1):10. (IF -3,4; MEiN- 100)
- Badanie wieloośrodkowe przeprowadzone przez **Klinikę Otolaryngologii i Laryngologii Onkologicznej Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu, Klinikę Otolaryngologii, Foniatrii i Audiologii Collegium Medicum w Bydgoszczy** oraz **Klinikę Otolaryngologii Uniwersytetu Medycznego w Gdańsku.** W tym wieloośrodkowym badaniu retrospektywnym

przeprowadzono analizę wpływu pandemii SARS-CoV-2 na przebieg chorób nowotworowych z zakresu głowy i szyi, ze szczególnym uwzględnieniem postępowania w przypadku nagłej duszności. Wyniki badania udokumentowano publikacją

- Pietruszewska W, Burduk P, **Rosiak** O, Podlawska P, Zakrzewski B, Barańska M, et al. Impact of COVID-19 on Head and Neck Cancer Advancement Measured by Increasing Numbers of Urgent Dyspnea Cases—What Could Be Improved in the Event of Subsequent Pandemics? *J Clin Med*. 2022 Oct 28;11(21):6385. (IF- 3,9; MEiN -140)
- **Klinika Chorób Zakaźnych i Hepatologii Uniwersytetu Medycznego w Łodzi** W tej współpracy uczestniczyłem w prospektywnym badaniu klinicznego oceniającym poziom przeciwciał w reakcji na nowe szczepionki mRNA przeciw SARS-COV-2. Badanie to było badaniem kohortowym, nierandomizowanym, w którym porównano skuteczność nowej szczepionki mRNA względem szczepionek wektorowych. Wyniki badania opublikowano w cyklu publikacji w czasopiśmie *Vaccines* (łącznie IF 15,6, MEiN – 280):
 - Słomka S, Zieba P, Rosiak O, Piekarska A. Assessment of Reactivity to the Administration of the mRNA Vaccine after Six Months of Observation. *Vaccines (Basel)*. 2023 Feb 6;11(2):366.
 - Słomka S, Zieba P, Rosiak O, Piekarska A. Comparison of Post-Vaccination Response between mRNA and Vector Vaccines against SARS-CoV-2 in Terms of Humoral Response after Six Months of Observation. *Vaccines (Basel)*. 2023 Oct 23;11(10):1625.
- **Klinika Otolaryngologii i Laryngologii Onkologicznej Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu** oraz **Klinika Otolaryngologii, Chirurgii Głowy i Szyi Uniwersytetu Medycznego w Łodzi**. W latach 2021-2022 brałem udział w międzyośrodkowym badaniu klinicznym oceniającym zastosowanie nowej metody obrazowania endoskopowego za pomocą wąskiej wiązki światła niebieskiego w rozpoznawaniu zmian przednowotworowych w krtani. Wyniki tego projektu przedstawiono w cyklu publikacji nagrodzonym nagrodą rektora UM w Łodzi. (łącznie IF-12,313; MEiN- 240)
 - Pietruszewska W, Morawska J, **Rosiak** O, Leduchowska A, Klimza H, Wierzbicka M. Vocal Fold Leukoplakia: Which of the Classifications of White Light and Narrow Band Imaging Most Accurately Predicts Laryngeal Cancer Transformation? Proposition for a Diagnostic Algorithm. *Cancers (Basel)*. 2021 Jun 30;13(13):3273.

- Klimza H, Pietruszewska W, **Rosiak** O, Morawska J, Nogal P, Wierzbicka M. Leukoplakia: An Invasive Cancer Hidden within the Vocal Folds. A Multivariate Analysis of Risk Factors. *Front Oncol*. 2021 Dec 13;11.

Klinika Pneumonologii Uniwersytetu Medycznego w Łodzi przy projekcie oceniającym zastosowanie ultrasonografii przyłóżkowej POCUS w diagnostyce duszności u pacjentów w stanie zagrożenia życia. W ramach tej współpracy przeprowadzono przegląd literatury oraz prospektywne badanie kliniczne, które udokumentowano cyklem publikacji (łączny IF – 10,1; MEiN – 250):

- Kowalczyk D, Piotrowski WJ, Rosiak O, Białas AJ. Concise, Practical Review on Transthoracic Lung Ultrasound in Prehospital Diagnosis of Dyspnea in Adults. *Medicina (Kaunas)*. 2023 Jan 25;59(2):224. doi: 10.3390/medicina59020224. PMID: 36837426; PMCID: PMC9959919.
- Kowalczyk D, Turkowiak M, Piotrowski WJ, Rosiak O, Białas AJ. Ultrasound on the Frontlines: Empowering Paramedics with Lung Ultrasound for Dyspnea Diagnosis in Adults-A Pilot Study. *Diagnostics (Basel)*. 2023 Nov 9;13(22):3412. doi: 10.3390/diagnostics13223412. PMID: 37998549; PMCID: PMC10670426.
- Kowalczyk D, Turkowiak M, Piotrowski WJ, Rosiak O, Białas AJ. Unlocking Diagnostic Precision: FATE Protocol Integration with BLUE and eFAST Protocols for Enhanced Pre-Hospital Differential Diagnosis of Pleural Effusion Manifested as Dyspnea in Adults-A Pilot Study. *J Clin Med*. 2024 Mar 9;13(6):1573. doi: 10.3390/jcm13061573. PMID: 38541799; PMCID: PMC10971135.

5.2 Wyjazdy zagraniczne i staże

1. W 2024 roku realizowałem 2-tygodniowy staż szkoleniowy w Balance Program, Department of Otolaryngology, Boston Children's Hospital. Wspomniana placówka afiliowana jest z Harvard Medical School. Po zakończeniu stażu przygotowałem wykład podsumowujący moje doświadczenia ze stażu w zakresie diagnostyki i leczenia chorób układu równowagi, który zaprezentowałem w ICZMP 10 maja 2024. Wydarzenie było również transmitowane w formie on-line i udostępnione zainteresowanym słuchaczom.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

Działalność dydaktyczna

Prowadzę aktywną działalność dydaktyczną w ramach pracy w Uniwersytecie Medycznym w Łodzi, początkowo realizowaną w ramach Kliniki Otolaryngologii I Katedry Otolaryngologii UM w Łodzi, następnie w ramach Zakładu Dydaktyki Pediatrycznej, Katedry Pediatrii i Immunologii Wieku Rozwojowego. Od 2022 roku prowadzę zajęcia dla studentów kierunku fizjoterapii Uniwersytetu Medycznego w Łodzi poświęcone diagnostyce i rehabilitacji zaburzeń równowagi i zawrotów głowy wieku dziecięcego w ramach przedmiotu Neurologia Dziecięca.

W 2022 roku założyłem pracownię Wirtualnej Rzeczywistości w Instytucie Centrum Zdrowia Matki Polki, w ramach której realizowano badania we współpracy z Politechniką Łódzką będące przedmiotem głównego osiągnięcia naukowego. Infrastruktura pracowni była również wykorzystana w pracach Koła Naukowego przy Klinice Otolaryngologii ICZMP oraz w trakcie prowadzonych przeze mnie warsztatów dla studentów zrzeszonych w SKN przy Klinice Pediatrii i Immunologii ICZMP w Łodzi.

Opieka naukowa nad magistrantami charakterze promotora:

1. „Ocena wpływu środowiska wirtualnej rzeczywistości na podatność na chorobę symulatorową „Izabela Kulczak, kierunek: fizjoterapia Wydział Nauk o Zdrowiu, Uniwersytet Medyczny w Łodzi

Opieka naukowa nad Studenckim Kołem Naukowym

Jestem opiekunem Studenckiego Koła Naukowego przy Klinice Otolaryngologii Instytutu Centrum Zdrowia Matki Polki w Łodzi. Pod moją opieką studenci koła prezentowali swoje wystąpienia na 5 krajowych konferencjach naukowych, jednej studenckiej konferencji międzynarodowej, w tym jeden z referatów na konferencji krajowej wyróżniono I miejscem. Przygotowywali również 3 publikacje naukowe o łącznym IF- 3,6 oraz MEiN – 240.

- Pietrzak, N.; Jankowska, K.W.; Rosiak, O.; Konopka, W. Atrophy of the Long Process of the Incus with Unknown Origin – a Rare Cause of Acquired Conductive Hearing Loss: A Clinical Case Report and Mini-Review of the Literature. *Polski Przegląd Otorinolaryngologiczny* **2023**, *12*, 31–37, doi:10.5604/01.3001.0053.8512.
- Jankowska, K.; Pietrzak, N.; Rosiak, O.; Konopka, W. Literature Review and Two Study Cases of Vestibular Paroxysmia from an Otorhinolaryngology Centre. *J Hear Sci* **2023**, *13*, 16–25, doi:10.17430/jhs/167383.
- Pietrzak N, Jankowska K, Rosiak O, Konopka W. New Prospects on Neuroimaging in Von Hippel Lindau Disease-A Narrative Review. *Diagnostics (Basel)*. 2024 Jan 31;14(3):309. doi: 10.3390/diagnostics14030309. PMID: 38337825; PMCID: PMC10855214.

Recenzje prac naukowych

- Jestem aktywnym recenzentem w międzynarodowych czasopismach w dziedzinie nauk o zdrowiu n nauk medycznych.
 - Archives of Medical Science (3 recenzje)
 - Clinical Interventions in Ageing (2 recenzje)
 - Journal of Clinical Medicine (3 recenzje)
 - Medicina (1 recenzja)
 - Brain Sciences (2 recenzje)
 - Audiology Research (1 recenzja)
 - Diagnostics (2 recenzje)
 - Medical Sciences (1 recenzja)
 - Journal of Otorhinolaryngology, Hearing and Balance Medicine (1 recenzja)
 - Brazilian Journal of Otolaryngology (1 recenzja)
 - International Journal of General Medicine (1 recenzja)
 - Patient Related Outcome Measures (1 recenzja)
 - Cerebellum and Ataxias (1 recenzja)
 - Frontiers in Medicine (2 recenzje)
 - Frontiers in Oncology (2 recenzje)
 - Frontiers in Neurology (1 recenzja)

Ponadto, jestem członkiem rady recenzentów Frontiers in Oncology oraz koordynatorem tematu „Molecular Biology and Treatment Strategies for Tumors of Middle and Inner Ear” w czasopiśmie Frontiers in Neurology.

Działalność popularno-naukowa

W ramach popularyzacji nauki prowadzę wykłady, warsztaty oraz prelekcje dla studentów medycyny oraz lekarzy w trakcie specjalizacji z otorynolaryngologii oraz lekarzy innych specjalności. Biorę aktywny udział w eksperckich panelach dyskusyjnych oraz udzielam się w lokalnych mediach. Poniżej przedstawiam najważniejsze spośród wspomnianych aktywności:

- Prowadzenie **kursu** „Laryngolog na dyżurze” organizowanego przez Fundację Medelight w latach 2021 i 2022
- Prowadzenie **kursu** „Otoskopia” organizowanego przez Fundację Medelight oraz Polskie Towarzystwo Pediatryczne Oddział w Białymstoku w 2023 roku.
- Udział w **konferencji** I Forum Młodych lekarzy organizowanego przez Fundację Medelight 21.09.2023 jako **wykładowca**.

- Prowadzenie **warsztatu** „Praktyczny kurs chirurgii kości skroniowej – dla początkujących” 14.09.2023 w ramach VIII Międzynarodowej konferencji naukowo-szkoleniowej Otologia 2023, Lublin.
- Udział w **panelu dyskusyjnym jako ekspert** Advanced Bionics 2nd Experts Meeting 10.2023 we Wrocławiu
- Udział w **panelu dyskusyjnym jako ekspert** „Leading the way in conductive hearing loss” Wiedeń, 26.01.2024.
- **Wywiad** w Telewizji Polskiej Oddział w Łodzi w ramach programu „Rozmowa Dnia” 2.03.2024 poświęcony leczeniu niedosłuchu u dzieci.
- Udział w **Komitecie Organizacyjnym** konferencji „Dni Otolaryngologii Dziecięcej 2025” organizowanej przez Sekcję Otolaryngologii Dziecięcej Polskiego Towarzystwa Otolaryngologów, Chirurgów Głowy i Szyi.
- Udział w organizacji szkoleń wewnętrznych zakresu diagnostyki otoneurologicznej organizowanych dla lekarzy w trakcie specjalizacji w Instytucie Centrum Zdrowia Matki Polki w Łodzi jako wykładowca.

7. Inne informacje, ważne z punktu widzenia wnioskodawcy, dotyczące jego kariery zawodowej.

Rozprawa doktorska

W publikacjach stanowiących moją rozprawę doktorską pt. „Ocena rehabilitacji pacjentów z zawrotami głowy i zaburzeniami postawy z pomocą technik Wirtualnej Rzeczywistości” dokonano analizy zastosowania nowatorskiej techniki hybrydowej Wirtualnej Rzeczywistości (WR) w rehabilitacji pacjentów z jednostronną dysfunkcją układu przedsionkowego. Hybrydowy system WR składał się z urządzenia rejestrującego posturografię statyczną, na którym pacjent stał podczas wykonywania zadań w WR, oraz czujnika ruchu na podczewierń ustawionego przed pacjentem. Środowisko WR wyświetlane było na ekranie przed pacjentem. Pacjent wykonywał szereg ćwiczeń rehabilitacji przedsionkowej poprzez interakcję z wirtualnymi obiektami wyświetlanymi na ekranie, czujniki rejestrowały pozycję pacjenta w przestrzeni i przenosiły jego ruchy do środowiska wirtualnego. W pracach tych wykazano, że zastosowanie WR jest skuteczną formą rehabilitacji chorych z zawrotami głowy i zaburzeniami równowagi, zwiększającą stabilność posturalną pacjentów oraz zmniejszającą, w subiektywnej ocenie, intensywność zawrotów głowy. Wykazano, że metoda hybrydowej WR jest równie efektywna, co stosowana dotychczas rehabilitacja z zastosowaniem posturografii statycznej z wizualnym sprzężeniem zwrotnym. Jednakże stwierdzono, że wprowadzenie WR w większym stopniu redukuje odczucie choroby i lęku związanego z zawrotami głowy. W 2021 roku opublikowano aktualizację wytycznych American Physical Therapy Association dotyczących rehabilitacji pacjentów z obwodowym deficytem przedsionkowym, która rekomenduje ćwiczenia z zastosowaniem wirtualnej

rzeczywistości. Pośród dowodów naukowych stanowiących podstawy tej rekomendacji znajdują się przeprowadzone przeze mnie badania oryginalne opisane w tym cyklu publikacji.

Nagrody, stypendia, wyróżnienia:

1. Nagroda Naukowa im. Profesora Jana Miodońskiego, przyznana przez Polskie Towarzystwo Otolaryngologów, Chirurgów Głowy i Szyi podczas Krajowego Zjazdu we Wrocławiu w 2022 roku za cykl publikacji poświęcony wirtualnej rzeczywistości w rehabilitacji zawrotów głowy.
2. Nagroda II stopnia Rektora Uniwersytetu Medycznego w Łodzi w 2020 roku za cykl publikacji *Ocena efektów rehabilitacji u pacjentów z zaburzeniami układu równowagi*
3. Nagroda I stopnia Rektora Uniwersytetu Medycznego w Łodzi w 2022 roku za cykl publikacji *Kwestionariuszowa i instrumentalna ocena stanu układu równowagi*
4. Nagroda I stopnia Rektora Uniwersytetu Medycznego w Łodzi w 2022 roku za cykl publikacji *Zastosowanie szybkiej kamery i videoendoskopii biologicznej w ocenie zmian łagodnych, przednowotworowych i raka krtani*
5. Nagroda I stopnia Rektora Uniwersytetu Medycznego w Łodzi w 2023 roku za cykl publikacji *Ocena i diagnostyka czynników wpływających na wystąpienie zawrotów głowy i zaburzeń równowagi*

8. Bibliografia

1. Antoniadou E, Kalivioti X, Stolakis K, Koloniari A, Megias P, Tyllianakis M, et al. Reliability and validity of the mCTSIB dynamic platform test to assess balance in a population of older women living in the community. *J Musculoskelet Neuronal Interact* [Internet]. 2020;20(2):185–93. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32481234>
2. Bloem BR, Visser JE, Allum JHJ. Posturography. In: Hallet M, editor. *Movement Disorders*. 1st ed. Washington, DC: Elsevier; 2003.
3. Visser JE, Carpenter MG, van der Kooij H, Bloem BR. The clinical utility of posturography. Vol. 119, *Clinical Neurophysiology*. 2008.
4. Tyemi D, Oda M, Freitas Ganança C. Computerized dynamic posturography in the assessment of body balance in individuals with vestibular dysfunction. *Original Article Audiol Commun Res* [Internet]. 2015 [cited 2022 Feb 10];20(2):89–95. Available from: <http://dx.doi.org/10.1590/S2317-64312015000200001469>
5. Soto-Varela A, Rossi-Izquierdo M, del-Río-Valeiras M, Faraldo-García A, Vaamonde-Sánchez-Andrade I, Lirola-Delgado A, et al. Vestibular rehabilitation with mobile posturography as a “low-cost” alternative to vestibular rehabilitation with computerized dynamic posturography, in old people with imbalance: a randomized clinical trial. *Aging Clin Exp Res* [Internet]. 2021 Oct 7;33(10):2807–19. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s40520-021-01813-2>

6. Basta D, Rossi-Izquierdo M, Soto-Varela A, Ernst A. Mobile posturography: Posturographic analysis of daily-life mobility. *Otology & Neurotology* [Internet]. 2013;34(2):288–97. Available from: <http://content.wkhealth.com/linkback/openurl?sid=WKPTLP:landingpage&an=00129492-201302000-00015>
7. Rosiak O, Gawronska A, Janc M, Marciniak P, Kotas R, Zamyslowska-Szmytke E, et al. Utility of the Novel MediPost Mobile Posturography Device in the Assessment of Patients with a Unilateral Vestibular Disorder. *Sensors* [Internet]. 2022 Mar 12;22(6):2208. Available from: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/6/2208>
8. Crétual A. Which biomechanical models are currently used in standing posture analysis? *Neurophysiologie Clinique* [Internet]. 2015;45(4–5):285–95. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neucli.2015.07.004>
9. Napieralski J, Tylman W, Kotas R, Marciniak P, Kaminski M, Janc M, et al. Classification of subjects with balance disorders using 1D-CNN and inertial sensors. *IEEE Access*. 2022;1–1.
10. Kingma H, Gauchard GC, De Waele C, Van Nechel C, Bisdorff A, Yelnik A, et al. Stocktaking on the development of posturography for clinical use. *J Vestib Res*. 2011;21(3):117–25.
11. Madgwick SOH, Harrison AJL, Vaidyanathan R. Estimation of IMU and MARG orientation using a gradient descent algorithm. In: 2011 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics. IEEE; 2011. p. 1–7.
12. Kotas R, Janc M, Kaminski M, Marciniak P, Zamyslowska-Szmytke E, Tylman W. Evaluation of Agreement Between Static Posturography Methods Employing Tensometers and Inertial Sensors. *IEEE Access* [Internet]. 2019;7:164120–6. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8894354/>
13. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med* [Internet]. 2016 Jun 1 [cited 2023 Aug 18];15(2):155. Available from: </pmc/articles/PMC4913118/>
14. Alonso AC, Luna NM, Dionísio FN, Speciali DS, Leme LEG, Greve JMD. Functional Balance Assessment: review. *Medical Express*. 2014;1(6).
15. Tinetti ME, Franklin Williams T, Mayewski R. Fall risk index for elderly patients based on number of chronic disabilities. *Am J Med* [Internet]. 1986 [cited 2024 Jun 5];80(3):429–34. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3953620/>
16. Szostek-Rogula S, Zamyslowska-Szmytke E. Validation of the Polish version of the Dizziness Handicap Inventory. *Med Pr* [Internet]. 2019 [cited 2024 Jun 5];70(5):529–34. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31418756/>
17. Wilhelmsen K, Strand LI, Nordahl SHG, Eide GE, Ljunggren AE. Psychometric properties of the Vertigo symptom scale - Short form. *BMC Ear Nose Throat Disord* [Internet]. 2008 [cited 2024 Jun 5];8(1). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18371190/>
18. Wittstein MW, Crider A, Mastrocola S, Guerena Gonzalez M. Use of Virtual Reality to Assess Dynamic Posturography and Sensory Organization: Instrument Validation Study. *JMIR Serious Games*. 2020 Dec 16;8(4).

19. Marchetto J, Wright WG. The Validity of an Oculus Rift to Assess Postural Changes During Balance Tasks. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*. 2019 Dec 27;61(8).
20. Kamiński M, Marciniak P, Tylman W, Kotas R, Janc M, Józefowicz-Korczyńska M, et al. Detection of balance disorders using rotations around vertical axis and an artificial neural network. *Sci Rep*. 2022 May 6;12(1):7472.
21. Szermer M, Zając P, Amrozik P, Maj C, Jankowski M, Jabłoński G, et al. A Capacitive 3-Axis MEMS Accelerometer for Medipost: A Portable System Dedicated to Monitoring Imbalance Disorders. *Sensors*. 2021 May 20;21(10):3564.
22. Rodrigues LA, Santos EGR, Santos PSA, Igarashi Y, Oliveira LKR, Pinto GHL, et al. Wearable Devices and Smartphone Inertial Sensors for Static Balance Assessment: A Concurrent Validity Study in Young Adult Population. *J Pers Med*. 2022 Jun 21;12(7):1019.
23. McCaslin DL, Shepard NT, Hollman JH, Staab JP. Characterization of Postural Sway in Patients With Persistent Postural-Perceptual Dizziness (PPPD) Using Wearable Motion Sensors. *Otology & Neurotology*. 2022 Feb;43(2):e243–51.
24. Li X, Chen Z, Yue Y, Zhou X, Gu S, Tao J, et al. Effect of Wearable Sensor-Based Exercise on Musculoskeletal Disorders in Individuals With Neurodegenerative Diseases: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Aging Neurosci*. 2022 Jul 26;14.
25. Janc M, Sliwinska-Kowalska M, Jozefowicz-Korczynska M, Marciniak P, Rosiak O, Kotas R, et al. A comparison of head movements tests in force plate and accelerometer based posturography in patients with balance problems due to vestibular dysfunction. *Sci Rep*. 2021 Sep 27;11(1):19094.
26. Gaina MA, Sbarcea SV, Popa BS, Stefanescu BV, Gaina AM, Szalontay AS, et al. SAFEvR MentalVeRse.app: Development of a Free Immersive Virtual Reality Exposure Therapy for Acrophobia and Claustrophobia. *Brain Sci*. 2024 Jun 27;14(7):651.
27. Quintana D, Rodríguez A, Boada I. A New System for the Remote Configuration and Monitoring of VR Rehabilitation Exercises. *IEEE Access*. 2024;12:125493–509.
28. Janc M, Sliwinska-Kowalska M, Jozefowicz-Korczynska M, Marciniak P, Rosiak O, Kotas R, et al. A comparison of head movements tests in force plate and accelerometer based posturography in patients with balance problems due to vestibular dysfunction. *Sci Rep* [Internet]. 2021 Dec 1 [cited 2022 Aug 6];11(1):19094. Available from: [/pmc/articles/PMC8476591/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35111111/)
29. Gawrońska A, Zamysłowska-Szmytke E, Janc M, Kotas R, Kamiński M, Marciniak P, et al. Innovative System for Evaluation and Rehabilitation of Human Imbalance. *Otolaryngologia Polska*. 2022 Mar 8;76(3):7–11.