

lek. Bartosz Kasprzak

Ocena wyników rehabilitacji po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego lub endoprotezoplastyce wspomaganiej ćwiczeniami opartymi o posturografię i aplikację Rossa Clarka

Rozprawa na stopień naukowy doktora nauk medycznych i nauk o zdrowiu w dyscyplinie nauki medyczne

Promotor: dr hab. n. med. Marcin Mardas

Katedra Biofizyki, Zakład Biofizyki



Kolegium Nauk Medycznych
Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu
Poznań 2021

Spis treści

Acknowledgments.....	5
Podziękowania.....	5
I. POSTUROGRAFIA.....	6
1.1. Wstęp.....	7
1.2. Analiza techniczna urządzeń dostępnych na rynku.....	8
1.3. Zastosowanie posturografii.....	10
1.4. Wii Balance Board.....	11
1.4.1 Analiza literatury dotyczącej Wii Balance Board.....	12
1.4.2. Przykłady wykorzystania oprogramowania Wii Fit.....	13
1.4.3 Autorskie rozwiązania.....	16
II. SCHORZENIA WPLYWAJĄCE NA POSTAWĘ	
I INNE METODY ICH OCENY.....	22
2.1. Postawa ciała człowieka.....	23
2.2. Choroba zwyrodnieniowa stawu biodrowego.....	23
2.3. Choroba zwyrodnieniowa stawu kolanowego.....	25
2.4. Uszkodzenia tkanek miękkich wewnątrz stawu kolanowego.....	26
2.5. Rehabilitacja po zabiegach rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego i po zabiegach endoprotezoplastyki stawu biodrowego oraz kolanowego.....	27
2.6. Badanie kliniczne pacjentów z zaburzeniami postury.....	30
III. CELE PRACY.....	33
3.1. Główny cel pracy.....	34
3.2. Szczegółowe cele pracy.....	34
IV. MATERIAŁY I METODY.....	35
4.1 Aparatura pomiarowa.....	36
4.1.1 Badanie dwuplatformowe Wii Balance Board.....	36
4.1.2. Opis Techniczny Aplikacji Rossa Clarka.....	40
4.1.3 Platforma Otometrics ICS Balance Platform.....	41
4.1.4. Walidacja układu pomiarowego Wii Balance Board.....	42
4.2. Badanie Kontrolne - walidacja układu pomiarowego Wii Balance Board z urządzeniem referencyjnym	43
4.3. Badanie chorych.....	45

4.4	Mierzone parametry.....	46
4.5.	Rehabilitacja.....	47
4.6.	Analiza statystyczna.....	48
V.	WYNIKI.....	49
5.1	Uwagi techniczne.....	50
5.2	Walidacja platformy Wii Balance Board z platformą ICS.....	51
5.2.1	Charakterystyka populacji	51
5.2.2	Analiza statystyczna wyników.....	51
5.2.3	Porównanie wyników pomiarów metodą Blanda-Altmana	53
5.3	Wyniki grupy badanej.....	65
5.3.1	Charakterystyka populacji	65
5.3.2	Wyniki posturografii uzyskane z Wii Balance Board	65
5.3.3	Ocena wyników rehabilitacji.....	69
5.3.4	Wybrane przypadki kliniczne.....	69
5.4	Wyniki zebrane w oparciu o badanie dwuplatformowe Wii Balance Board.....	71
5.4.1	Rozkład obciążeń.....	71
5.4.1	Wybrany przypadek kliniczny wychyleń poszczególnych kończyn podczas stania obunóż.....	73
VI.	DYSKUSJA.....	75
VII.	WNIOSKI.....	84
	Summary.....	86
	Streszczenie.....	87
	Bibliografia.....	88
	Spis rycin.....	99
	Spis tabel.....	106
	Załączniki.....	107
	SUPLEMENT A - Szczegółowe wyniki dla poszczególnych testów.....	110

Acknowledgments

*I would like to give special thanks to Professor Ross Clark
from University of Sunshine Coast in Australia
for letting me use his software and for online consultations.
Thank You.*

Podziękowania

*Dziękuję mojej ukochanej Agatce za motywację oraz Rodzicom za wsparcie
i wykształcenie.*

Dziękuję zespołowi Katedry Biofizyki z Profesorem Leszkiem Kubiszem na czele.

*Dziękuję również pacjentom Oddziału Ortopedii w Specjalistycznym Centrum
Medycznym w Polanicy Zdroju oraz pacjentom Polikliniki Panaceum w Łądku Zdroju
za udział w badaniu.*

*Ponadto dziękuję również doktorowi Krzysztofowi Kapicy,
doktorowi Robertowi Dębskiemu, doktorowi Pawłowi Głowce.*

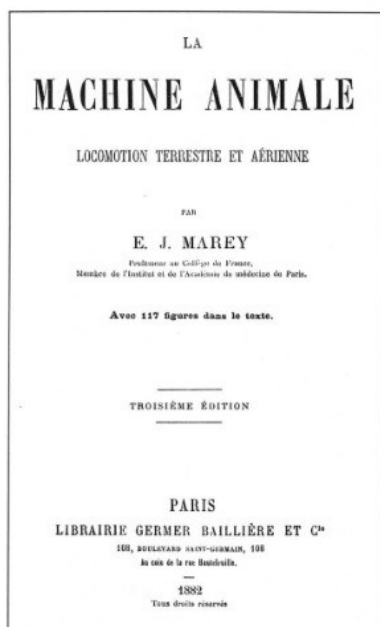
*Osobne podziękowania promotorowi
dr. hab. n. med Marcinowi Mardasowi za nadzór nad pracą
i wsparcie motywacyjne.*

I. POSTUROGRAFIA

1.1. Wstęp

Posturografia jest badaniem używanym do oceny kontroli postawy ciała podczas stania w statycznych bądź dynamicznych warunkach. Badanie posturograficzne jest badaniem nieinwazyjnym. Umożliwia kompleksową ocenę zaburzeń w obrębie układu nerwowego oraz układu motorycznego. Szczególną rolę odgrywa w diagnostyce zaburzeń równowagi. W badaniach posturograficznych używa się różnych protokołów w zależności od typu schorzenia [1].

Jednym z pierwszych naukowców, który podejmował próby oceny postury i ruchu był Étienne-Jules Marey (1830-1904). Budował on interesujące urządzenia mające rejestrować ruch i nacisk (Rycina 1). Posturografia rozpoczęła swój rozwój z końcem lat sześćdziesiątych XX wieku. Po sympozjach w Smolenicach w 1966 i w Paryżu w 1968 roku zdecydowano utworzyć w 1969 roku International Society of Posturography (Międzynarodowe Towarzystwo Posturografii) [2].



Rycina 1. Praca Etienne-Julesa i ryciny eksperymentalnych urządzeń do rejestracji ruchu i oceny nacisku

Zastosowanie klinicznej posturografii zostało po raz pierwszy opisane przez Nashnera w 1982 [3]. Jego szczególne zainteresowanie wzbudzili pacjenci z zaburzeniami układu przedsionkowego. Jednym z pierwszych zastosowań komercyjnych komputerowej posturografii był wprowadzony przez firmę NeuroCom International Inc. system EquiTest. Jak podaje producent w swoich materiałach informacyjnych pierwszy system powstał w 1984. Do jego rozwoju przyczyniły się granty z NASA (National Aeronautics and Space Administration), oznaczano na nim zaburzenia układu przedsionkowego u astronautów [4].

1.2. Analiza techniczna urządzeń dostępnych na rynku

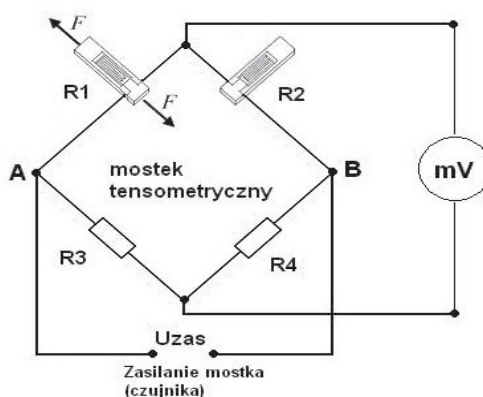
Badania posturograficzne można wykonywać na posturografach statycznych lub dynamicznych. Posturograf statyczny to urządzenie w formie platformy z umieszczonymi na jej narożnikach czujnikami obciążenia (tzw. czujniki tensometryczne). Pacjent wchodzi na urządzenie przypominające elektroniczną wagę łazienkową, nacisk jest przenoszony na czujniki tensometryczne, zwane również tensometrami. Najczęściej stosowanym czujnikami tensometrycznymi są tensometry oporowe. Opierają się one na właściwości fizycznej drutu metalowego, gdzie drut zmienia swój opór w zależności od przyłożonego nacisku. Drut lub folia oporowe są najczęściej umieszczone na innym elemencie podatnym na odkształcenia pod wpływem działających sił lub momentów. Dwa najczęstsze typy tensometrów to tensometry kratowe, w których szereg drucików jest ułożony równolegle na taśmie i tensometry foliowe z siatki rezystancyjnej w postaci wężyka [5]. Zmianę rezystancji tensometru oblicza się ze wzoru:

$$\Delta R/R = k \cdot \varepsilon$$

gdzie: ε – odkształcenie względne, k – współczynnik odkształcania tensometru (stała tensometru),

R – rezystancja elementu oporowego [6].

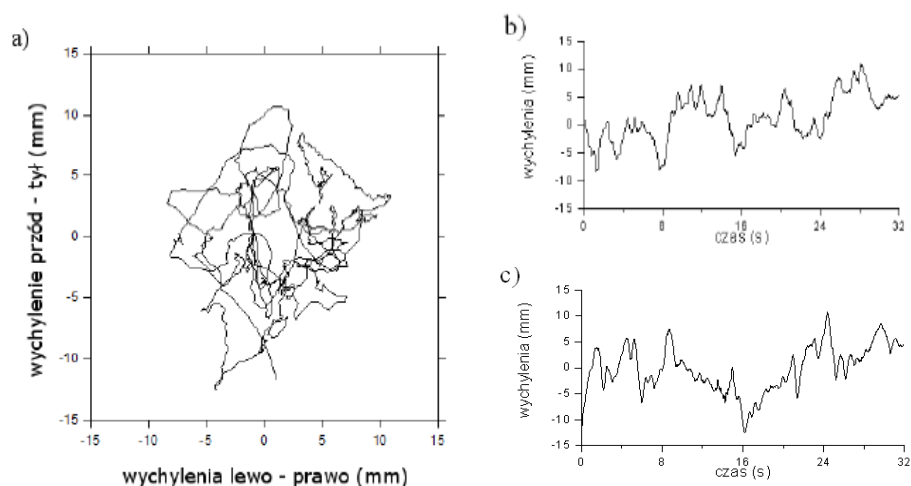
Jednym z możliwych schematów podłączenia czujnika tensometrycznego jest tzw. mostek Wheatstone'a (Rycina 2). Mostek ten składa się z czterech gałęzi utworzonych z czterech elementów: zazwyczaj jest to tensometr o oporności R_1 , tensometr kompensacyjny o oporności R_2 oraz dwa oporniki R_3 i R_4 [6].



Rycina 2. Mostek Wheatstone'a (źródło: Szarzyński A. - portal automatykab2b.pl [5])

Najczęściej mostki tensometryczne są zasilane napięciem stałym. Niestety zmiany rezystancji (ΔR) są bardzo małe - wartości rzędu $0,01 - 1\Omega$, co przekłada się na niewielkie zmiany napięcia w układzie zasilania - są to wartości wynoszące $0,1\%$ napięcia zasilającego układ. W związku z tym konieczne staje się zastosowanie układów wzmacniających sygnał. Ponadto po wzmocnieniu sygnału musi on zostać przekształcony przez konwerter analogowo-cyfrowy. Od rozdzielczości tego przetwornika będzie zależać dokładność pomiarowa urządzenia [7].

Posturografia jest badaniem polegającym na pomiarze siły nacisku na podłoże, przy czym można je wykonać w funkcji statycznej lub dynamicznej. W posturografii wyznacza się położenie środka nacisku stóp – COP (center of foot pressure), a wynik przedstawia się w postaci dwóch wykresów: statokinezyjogramu oraz stabilogramu (Rycina 3). Statokinezyjogram przedstawia ruch centrum nacisku w układzie (x,y) , gdzie x to oś lewo-prawo, a y – oś przód-tył. Stabilogram obrazuje położenie centrum nacisku, ruch w osi lewo-prawo oraz ruch w osi przód-tył jako osobne funkcje czasu.



Rycina 3. Przykład statokineziogramu (a) i dwóch stabilogramów (b,c) (źródło: Werner H [8])

Większość posturografów jest oparta o opisaną powyżej metodę działania, a różnice pomiędzy urządzeniami dotyczą głównie obudowy i oprogramowania. Modyfikacją statycznego badania posturograficznego jest dodanie funkcji dynamicznej poprzez dodanie ruchomego elementu. W czasie badania istnieje możliwość zniesienia blokady, w ten sposób cała platforma pomiarowa ulega wychyleniom[9].

1.3.Zastosowanie posturografii

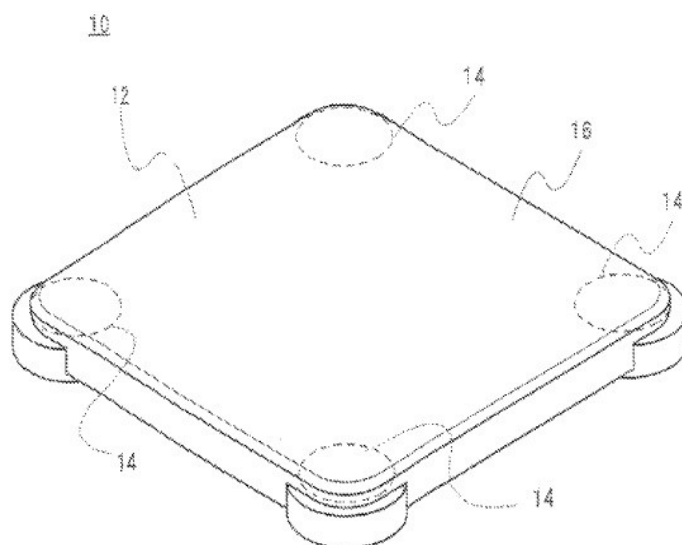
Badania wykonywane na posturografach stosowane są głównie w diagnostyce zaburzeń postawy oraz funkcji błędnika. Mogą również być wykorzystywane w zakresie rehabilitacji neurologicznej [10] oraz pomagać w określaniu prawdopodobieństwa upadku osób starszych [11]. Posturografia pozwala również na różnicowanie takich jednostek chorobowych jak choroba Parkinsona, czy też postępującego porażenia nadjądrowego (inaczej choroba/zespół Steele'a-Richardsona-Olszewskiego, *lac. paralysis supranuclearis progressiva*) [12]. Znalazła też zastosowanie w diagnostyce u sportowców, którzy przebyli wstrząśnienie mózgu [13]. Co istotne, w praktyce znajduje się coraz więcej możliwości zastosowania posturografii.

Niewątpliwą zaletą posturografii jest fakt, że jest to badanie określające odchylenia pacjenta w funkcji czasu. Dzięki ocenie dynamiki zaburzeń równowagi i stabilności możliwe jest wychwycenie zmian, które pacjent chwilowo kompensował napięciem mięśni na potrzeby badań obrazowych lub topograficznych. Dodatkowo część posturografów oprócz funkcji czysto pomiarowej posiada również funkcję interaktywną opartą na zasadzie biofeedbacku. Oprogramowanie dostarczane z posturografami ma często opcję treningową - pacjent otrzymuje zadania przemieszczania obiektu na ekranie poprzez zmianę wychyleń swojego ciała. Jest to szczególnie przydatne w rehabilitacji osób po udarach i po urazach sportowo-ortopedycznych i pozwala to na odbudowę funkcji proprioceptywnych. Pacjent odzyskuje kontrolę nad położeniem swojego ciała, ćwiczy swój balans mięśniowy [14,15].

1.4. Wii Balance Board

Interesującym rozwiązaniem jest posturografia oparta o powszechnie dostępne platformy Wii Balance Board, które były masowo produkowane jako akcesorium konsoli do gier firmy Nintendo. Na świecie wyprodukowano łącznie ponad 40 milionów platform Wii Balance Board. Po raz pierwszy została zaprezentowana 11 lipca 2007 na Electronic Entertainment Expo. Jest to urządzenie przypominające swoim wyglądem wagę łazienkową zasilane bateriami AA i komunikuje się z urządzeniami zewnętrznymi za pomocą protokołu Bluetooth. W każdym z narożników urządzenia umieszczony jest precyzyjny czujnik tensometryczny. Początkowo twórcy chcieli stosować jeden lub dwa czujniki tensometryczne lecz zawodnicy dyscypliny sumo, którzy wazyli się z użyciem dwóch wag zainspirowali ich do zwiększenia ilości czujników do czterech [16]. Pierwsze prototypy urządzenia były kwadratowe (Rycina 4 poniżej, rysunek pochodzi z patentu [17]), ostatecznie zdecydowano jednak o ich prostokątnym kształcie jak w patencie US 9.205,327 B2 [18] (Rycina 15 w rozdziale Materiały i Metody).

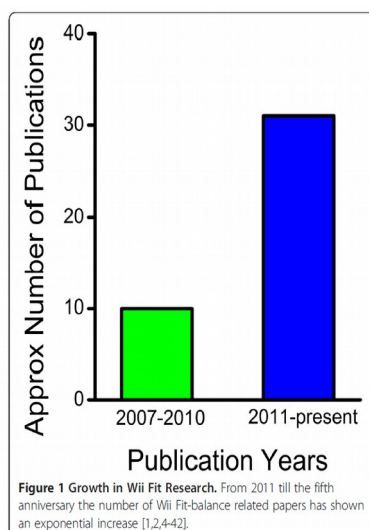
FIG. 1



Rycina 4. Jeden z pierwszych rysunków technicznych Wii Balance Board (źródło: US PATENT 9.289,680 B2 [17])

1.4.1 Analiza literatury dotyczącej Wii Balance Board

Na świecie były podejmowane badania medyczne zarówno z użyciem oryginalnego oprogramowania Wii Fit Plus napisanego na potrzeby konsoli, do której Wii Balance Board był akcesorium, jak i również część zespołów zdecydowała o napisaniu własnych aplikacji. Na samo zapytanie "wii balance" w bazie PubMed dostępnych jest ponad 400 rekordów (stan na kwiecień 2021). Goble i wsp. z okazji pięciolecia Wii Balance Board opublikowali artykuł przeglądowy w którym analizowano przyrost publikacji dotyczących powyższego urządzenia (Rycina 5. poniżej) [19], odnaleziono wtedy około 40 publikacji. W pracy przeglądowej z 2018 roku Profesor Clark z zespołem po przeanalizowaniu baz SCOPUS, Medline, CINAHL, Web of Science, Embase, Inspec oraz po odrzuceniu duplikujących się rekordów oraz po merytorycznym przeanalizowaniu streszczeń znalazł 140 prac, w których prowadzono badania z użyciem Wii Board [20].



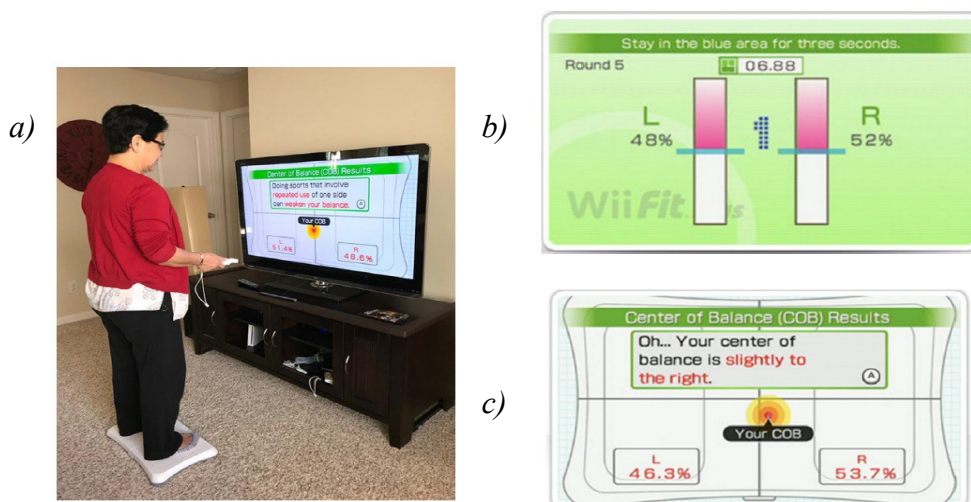
Rycina 5. Przedstawiająca ilość publikacji w 2012 roku, aktualnie można odnaleźć ponad 140 prac dotyczących badań z Wii Balance Board (źródło Goble i wsp. [19])

Poniżej przedstawiono wybrane zastosowanie Wii Balance Board w badaniach i praktyce klinicznej.

1.4.2. Przykłady wykorzystania oprogramowania Wii Fit

Jednym z badań, w którym wykorzystano oryginalne oprogramowanie Wii Fit firmy Nintendo (Rycina 6.) było badanie Beato i wsp. [21]. Przebadano jedenastu chorych po udarze wykorzystując testy zawarte w aplikacji Wii Fit. Wyniki tych badań zestawiono z wynikami podstawowych testów sprawności fizycznej wykonywanych rutynowo u pacjentów z przebytymi udarami. W badaniu tym na grupie 11 osób po udarze nie wykazano korelacji z najczęściej wykonywanymi standardowymi testami ryzyka upadku.

W badaniach Franco i wsp. [22] analizowano możliwość wykorzystania aplikacji Wii Fit dedykowanej dla Wii Balance Board. Trzydzieścioro dwoje pacjentów w wieku 63 do 90 lat zostało podzielonych na trzy grupy, z czego 11 osób ćwiczyło z użyciem aplikacji Wii Fit i platformy Wii Balance Board. Autorzy nie zaobserwowali znaczącej poprawy parametrów równowagi, co jednak wg autorów mogło wynikać z krótkiego czasu obserwacji - interwencja ćwiczeniowa wynosiła wyłącznie 3 tygodnie.



Rycina 6. a) Klasyczne zastosowanie Wii Balance Board wraz z konsolą Wii podłączoną do domowego telewizora b) Ekran z aplikacji Wii Fit przedstawiający możliwość oceny balancu w osi strzałkowej c) Ekran z aplikacji Wii Fit przedstawiający uproszczone badanie posturograficzne (źródło Beato i wsp. [21])

Jak wynika z badań Hermes i wsp. [23] dłuższy czas interwencji (8 tygodni) w badaniu przydatności Wii Fit z wykorzystaniem platformy Wii Balance Board w rehabilitacji osób starszych niekoniecznie musi przynosić większą poprawę. Przebadano łącznie 12 kobiet w wieku powyżej 65 roku życia, które zostały podzielone na trzy czteroosobowe grupy. Jedna grupa jako grupa kontrolna, kolejna grupa miała prowadzoną tradycyjną rehabilitację, a trzecia grupa miała dwa razy w tygodniu 40 minutowe sesje ćwiczeniowe z wykorzystaniem platformy Wii Balance Board i oprogramowania Wii Fit. Pacjenci zostali ocenieni przed i po badaniu na platformie Basic Balance Master firmy Neurocom. Pacjenci ćwiczący z użyciem oprogramowania Wii Fit osiągnęli mniejszą poprawę ogólną sprawności fizycznej niż pacjenci w grupie z tradycyjną rehabilitacją, większej poprawie uległa za to ich kontrola równowagi.

Nitz i wsp. [24] zaproponowali 10 tygodniowy okres rehabilitacji z użyciem aplikacji Wii Fit na platformie Basic Balance Master firmy Neurocom dla grupy 10 zdrowych kobiet w wieku od 30 do 58 lat. Choć zaobserwowali oni poprawę funkcjonalności w wielu testach (test stania obunóż, z oczami otwartymi; testy siły mięśniowej kończyn dolnych), konkluzją badania była jednak potrzeba oceny bardziej licznych grup i prowadzenia dalszych badań.

W randomizowanym badaniu klinicznym, prowadzonym w grupie 30 pacjentów po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego z wykorzystaniem ćwiczeń z użyciem Wii Fit w grupie badanej, nie wykazano istotnych różnic pomiędzy grupą badaną a grupą kontrolną, w której pacjenci wykonywali konwencjonalny zestaw ćwiczeń. Oceny parametrów stabilności stawu kolanowego oraz propriocepcji dokonano zarówno w pierwszym tygodniu po zabiegu, a następnie 8 tygodni oraz 12 tygodni po zabiegu [25].

Z kolei w badaniach dotyczących pacjentów po zabiegu endoprotezoplastyki stawu kolanowego w Szpitalu Rehabilitacyjnym Św. Jana w Toronto wykazano, że wdrożenie dodatkowych aktywności w postaci gier opartych na Wii Fit, może być dobrym uzupełnieniem tradycyjnej fizjoterapii. Do badania włączono 50 pacjentów po zabiegu endoprotezoplastyki, a u 27 wdrożono dodatkowe aktywności w postaci gier opartych na Wii Fit [26].

W australijskich badaniach prowadzonych w liczniejszej grupie 136 pacjentów po zabiegu endoprotezoplastyki stawu kolanowego [27,28] potwierdzono skuteczność wprowadzania dodatkowych ćwiczeń u pacjentów, którzy uzyskali lepsze wyniki w kwestionariuszu WOMAC (Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index) - oceniającym pięć parametrów bólu, dwóch sztywności i siedemnaście parametrów ograniczeń funkcjonalnych. Czas ćwiczeń z aplikacją Wii Fit wynosił 12 tygodni. Pacjenci byli oceniani klinicznie przed zabiegiem, a następnie w 6, 18, 26 i 52 tygodniu po zabiegu.

Z uwagi na małą ilość badań wykorzystujących oryginalną aplikację Wii Fit nie można jednoznacznie określić jej przydatności klinicznej. Ponadto, pierwotny „rozrywkowy” cel napisania tej aplikacji sprawia, że nie ma tam wielu zmiennych możliwych do wyekstrahowania i naukowej analizy. W związku z tym zdecydowana większość zespołów zdecydowała się opracować autorskie rozwiązania.

1.4.3 Autorskie rozwiązania

Dotychczas poza standardowymi komercyjnymi platformami wiele firm i zespołów próbowało, z dobrym skutkiem, zaadaptować platformę balansową Wii Balance Board firmy Nintendo do własnych zastosowań. Na jej bazie powstały takie projekty, jak:

HomeBalance w Czechach

Zespół specjalistów we współpracy z Uniwersytetem Karola w Pradze stworzył system wspomagający rehabilitację neurologiczną u osób starszych [29]. Oprogramowanie HomeBalance jest z powodzeniem stosowane w piętnastu ośrodkach na terenie Republiki Czeskiej. Napisano w nim aplikację na tablet, w której pacjent może przesuwając kulę po szachownicy ćwicząc w ten sposób swoją propriocepcję. Pełny opis projektu HomeBalance oraz dane multimedialne są dostępne pod adresem: <http://www.homebalance.cz>. Można też rozważyć stosowanie systemu HomeBalance u pacjentów ortopedycznych [30].

Wii Balance Board we Włoszech

Zespół Letizii Castelli wykorzystał autorskie oprogramowanie We-Measure i przebadali 90 pacjentów ze stwardnieniem rozsianym [31]. Porównali oni swoje autorskie oprogramowanie We-Measure z standardową platformą - w tym przypadku ProKin PK-254P, Tecnobody, Bergamo, Włochy. Należy przy tym dodatkowo zwrócić uwagę, że platforma ta ma tylko 3 czujniki i częstość odczytu 20Hz. Dlatego autorzy użyli odpowiednich filtrów dla sygnału otrzymanego z Wii Balance Board (Wii Balance Board umożliwia otrzymywanie sygnału z częstością do 100Hz), które dostosowały sygnał do poziomu zbliżonego do platformy ProKin. Darmowe oprogramowanie "We-Measure" zostało stworzone w Roma Tre University i jest dostępne do pobrania pod adresem: http://www.dia.uniroma3.it/~patrigna/portable_post/.

Kolejnym zespołem z Włoch, który również przebadał Wii Balance Board w zestawieniu z Baropodometrem FREEMED FM040 (SensorMedica, Włochy) był zespół Francesco Sgrò. Przebadano 10 ochotników. Sygnały z Wii Balance Board uzyskano dzięki autorskiej aplikacji napisanej w C#. Uzyskane dane również wykazały zbliżone odczyty do profesjonalnego baropodometru[32].

Irlandia północna i Wii Balance Board

Zespół Północno-irlandzko-francuski opracował skrypt do programu Virtools 4.0 (Dassault Systems) [33]. Pacjenci byli nie tylko diagnozowani przy użyciu Wii Balance Board i ich autorskiego rozwiązania, ale mieli również interwencje w postaci 20 minutowych ćwiczeń przez okres 4 tygodni. Warto podkreślić, że średnia wieku sześciuosobowej grupy, którą poddano ocenie wynosiła 84 lata. Pacjenci po zakończeniu ćwiczeń postury mieli lepsze wyniki badań posturograficznych po zakończeniu interwencji. Wskazuje to na fakt, że odpowiednio zaadoptowany system Wii Balance Board może być dobrym urządzeniem do rehabilitacji jak i również ćwiczenia posturalne i propriocepcji zmniejszają ryzyko upadku u osób starszych.

Hiszpania i posturografia Open Source

Zespół z Sewilli w Hiszpanii przeanalizował grupę 43 pacjentów z cukrzycą typu drugiego [24]. Badanie zostało zaprojektowane w ten sposób, że dane były zbierane synchronicznie z platformy Wii Balance Board umieszczonej na platformie Kistler 9286A (Winterthur, Szwajcaria). Poziom wiarygodności dla pomiarów w osi AP określono na poziomie 0.73–0.90, a w osi strzałkowej na poziomie 0.77–0.91.

Inny hiszpański zespół Martineza i Peres-Fernandez [35] opracował oprogramowanie Open-Source umożliwiające każdemu posiadaczowi komputera z system iOS i platformy Wii Balance Board stworzenie własnego systemu posturograficznego. Zespół ten przebadał 20 pacjentów (każdy po 6 testów) na platformie Wii Balance Board oraz na zwalidowanej komercyjnie dostępnej platformie Balance Rehabilitation Unit (BRU) (Medicaa, Montevideo, Urugwaj) uzyskując zadowalające rezultaty. Oprogramowanie RombergLab jest dostępne bezpłatnie pod adresem: <https://github.com/bendermh/RombergLab>.

Neuroforma PRO Balance w Polsce

W Polsce również zbudowano urządzenie posturograficzno-rehabilitacyjne z użyciem platformy Wii Balance Board. Jest dystrybuowane pod marką Neuroforma przez firmę Titanis jako Neuroforma PRO Balance lub Neuroforma - moduł kontroli równowagi. Koszt urządzenia to około 12 tysięcy złotych (Rycina 7.). Na moduł ten składa się platforma posturograficzna, zestaw barier asekuracyjnych oraz oprogramowanie z specjalnym zestawem ćwiczeń z biofeedbackiem. Ćwiczenia te poprawiają czucie głębokie, pozwalają utrwalać właściwe wzorce ruchowe, wzmacniają mięśnie posturalne [36,37].



Rycina 7. Neuroforma PRO Balance (źródło: www.neuroforma.pl)

Fysiometer w Danii

Duńska firma Fysiometer również skorzystała z Wii Balance Boardów w swoich urządzeniach. Powstały 3 linie produktowe C-Station (Rycina 8.), H-Station oraz G-Station. Poza oceną balansu, którą można ocenić na C-Station jest również możliwa ocena siły mięśni przywodzicieli i odwodzicieli (z użyciem G-Station) oraz siły mięśni grupy tylnej uda - mięśnie kulszowo-goleniowe (z użyciem H-Station). Firma we współpracy z Uniwersytetem w Allborg przetestowała grupę 354 pacjentów w kierunku zaburzeń równowagi. Pacjenci mieli wykonane 3 rodzaje testów: stanie obunóż z kończynami dolnymi w szerokim rozkroku, stanie obunóż z kończynami dolnymi bez

rozroku, stanie jednoonóż. W badaniu stwierdzono, że pacjenci w wieku 72,5 lat nie są w stanie stać jednoonóż. W badaniu tym wykorzystano Wii Balance Board do pomiarów oraz oprogramowanie Fysiometer, które obliczało prędkość środka nacisku (ang. center of pressure speed) w mm/s oraz powierzchnie zakreślona przez punkt środka nacisku (ang. COP area) w mm² [38].

W kolejnym badaniu przebadano również czasy reakcji u pacjentów. Pacjent pierwotnie stał przed platformą, a następnie dotknął stopą odpowiedniej strony platformy. System sześciokrotnie wskazywał losowo, którą stopą pacjent miał dotknąć platformy, po trzy dotknięcia na każdą ze stron. Wprowadzono również dodatkowe siódme dotknięcie, które nie było rejestrowane, ale miało za zadanie zmotywować pacjenta do zachowania czujności do końca badania [39].

Dodatkowo Wii Balance Board został również oceniony jako narzędzie pomiarowe siły uścisku dłoni oraz siły wyprostu kończyny dolnej w grupie 354 pacjentów [40]. Zarejestrowano również protokół badawczy dotyczący pomiarów siły uścisku dłoni z wykorzystaniem Wii Balance Board u pacjentów z nadciśnieniem tętniczym [41]. Z oprogramowania Fysiometer oraz Wii Balance Board korzystał również zespół badaczy z Leicester w Wielkiej Brytanii. Przebadano tam 30 pacjentów nie wymagających terapii nerkozastępczej z przewlekłą chorobą nerek, u których stwierdzono pogorszenie wyników pola powierzchni środka ciężkości (Center of Pressure Ellipse) w stosunku do normy [42].



Rycina 8. Fysiometer C-Station (źródło: www.fysiometer.com)

Wii Balance Board w Niemczech

Niemiecki zespół (Kalisch i wsp.) przebadał 21 starszych i 24 młodsze osoby korzystając z platformy Wii Balance Board [43]. Zbierali oni dane z częstością 50Hz wykazując, że Wii Balance Board nadaje się do wykonywania prostych testów funkcjonalnych, wykorzystujący oprogramowanie pod nazwą STABLE (<http://www.pro-wiss.de>). Ponadto dokonano adaptacji platformy do badań dynamicznych (Rycina 9.).



*Rycina 9. Adaptacja statycznej platformy posturograficznej do badań dynamicznych
(źródło: www.pro-wiss.de)*

Wii Balance Board a pacjent pediatryczny

Wii Balance Board był również analizowany w grupie pacjentów pediatrycznych. Larsen i wsp. [44] przebadali 54 osobową grupę dzieci w wieku od 10 do 14 lat. W badaniu wykonano trzykrotnie po cztery testy obejmujące stanie dwunóż z oczami otwartymi, stanie jednonóż na kończynie dolnej dominującej, stanie jednonóż na kończynie dolnej niedominującej, stanie obunóż z oczami zamkniętymi. Identyczne testy przeprowadzono na platformie firmy AMTI. Dane z Wii Balance Board zbierano przy użyciu autorskiego oprogramowania napisanego na platformę Windows. Dane były zbierane z częstością 60Hz. Uzyskano porównywalne wyniki z użyciem obydwu platform.

W literaturze są również dwa doniesienia konferencyjne dotyczące pacjentów pediatrycznych. W Plymouth w Stanach Zjednoczonych Bunn i wsp. [45] przebadali posturometrycznie dzieci w wieku od 4 do 8 lat na platformie Wii Balance Board z użyciem autorskiego skryptu do programu Matlab i zestawili dane z pomiarami wykonanym na platformie Kistler (USA). Pomiary wykazały zmniejszoną czułość platformy Wii Balance Board w populacji pediatrycznej, co wiązano z niższą masą ciała dzieci. Chen i wsp. [46] przebadali grupę 18 dorosłych i 35 dzieci korzystając z własnego autorskiego oprogramowania. Tajwańska grupa badaczy podaje, że uzyskała zadowalające wyniki pomiarów.

**II. SCHORZENIA WPLYWAJĄCE NA POSTAWĘ
I INNE METODY ICH OCENY**

2.1. Postawa ciała człowieka

We współczesnym świecie wskutek cyfryzacji życia, zmniejszenia aktywności fizycznej i epidemii otyłości często dochodzi do nasilenia dotychczas niemych klinicznie zaburzeń postawy, jak również do przeciążeń stawów. Prowadzi to do przyspieszenia postępu chorób zwyrodnieniowych stawów, większej ilości urazów więzadłowych stawów i ogólnego pogorszenia funkcjonowania układu ruchu [47].

Postawa człowieka to układ ciała w pozycji stojącej. Rozróżniamy postawę zwykłą i „baczna”. Postawa zwykła jest postawą rzeczywistą i stanowi przedmiot badania lekarskiego. Jest to indywidualna cecha człowieka zależna od ustawienia barków, głowy, tułowia, miednicy, kończyn dolnych. Uzależnienie jej od tak wielu składowych sprawia, że jej ocena i badanie jest złożone [48].

Najczęstszymi schorzeniami wpływającymi na nieprawidłową postawę lub przeciążanie jednej ze stron ciała są skoliozy, zaburzenia osi kończyn, płaskostopie, niestabilności więzadłowe lub inne urazy/deformacje w obrębie stawów. Wady takie jak kolana szpotawe lub koślawe, czy też stopy płaskie i płasko koślawe również wpływają na postawę. Ponadto pacjenci w starszym wieku ze schorzeniami zwyrodnieniowymi stawów biodrowych i kolanowych podświadomie odciążają chorą stronę przechylając się tym samym na zdrową stronę [49].

2.2. Choroba zwyrodnieniowa stawu biodrowego

Choroba zwyrodnieniowa stawu biodrowego jest przewlekłą niezapalną chorobą o wieloczynnikowej etiologii. Na chorobę zwyrodnieniową zapada około 2-3% populacji ogólnej, natomiast w grupie wiekowej powyżej 60 roku życia zapada na nią co druga osoba.

Chorobę zwyrodnieniową stawu biodrowego klasyfikuje się jako pierwotną lub wtórną. Może ona być wtórna do przebytych urazów, zapaleń stawów, chorób nasad kości długich lub związana z wrodzonym nieprawidłowym rozwojem stawu. Na objawy choroby zwyrodnieniowej stawu biodrowego może się nakładać choroba zwyrodnieniowa kręgosłupa. Ponadto zmiany mogą być pogłębione przez pierwotną nierówność kończyn [50].

Przyczyny pierwotnej choroby zwyrodnieniowej mogą być różne. Poza teorią mechaniczną zakładającą zużycie mechaniczne stawu istnieją również teoria genetyczna (zakładająca nieprawidłową budowę kolagenu typu II), immunologiczna oraz naczyniowa (przyjmująca nieprawidłowe ukrwienie nasad jako czynnika wyzwalającego zniszczenie chrząstki stawowej). Jednym z pierwszych objawów jest ból odczuwalny w okolicy krętarza większego lub w pachwinie, czasem promieniujący aż do kolana po przedniej powierzchni uda. Często może on być również ograniczony tylko do bólu kolana co wymaga szczególnej czujności diagnostycznej. Wraz z postępem choroby następuje stopniowe ograniczenie ruchomości w stawie biodrowym. Z czasem pojawia się coraz większe utykanie ze skróceniem fazy podparcia kończyny podczas chodu (pacjent podświadomie przenosi ciężar ciała na stronę zdrową). Kolejno mogą się też pojawić dodatnie objawy Trendelenburga i Duchenne'a. Coraz częściej podkreśla się również możliwą rolę konfliktu udowo-panewkowego lub uszkodzeń obróbka w patogenezie choroby zwyrodnieniowej [51].

W diagnostyce choroby zwyrodnieniowej stawu biodrowego wykonuje się zdjęcie AP obydwu stawów biodrowych, aby móc porównać staw biodrowy dający dolegliwości ze stawem po drugiej stronie. Ważna jest również wysokość krętarza mniejszego - wraz z postępem choroby i zagłębianiem się głowy kości udowej w panewce - przemieszcza się on do góry [52].

Leczeniem z wyboru (poza leczeniem zachowawczym) choroby zwyrodnieniowej stawu biodrowego jest całkowita endoprotezoplastyka tego stawu. Nowoczesne endoprotezy wykorzystujące artykulacje typu *ceramika - wkład poly* wydłużają żywotność implantu. Dąży się również do osadzania coraz większych głów w protezie (przeważają rozmiary 32mm lub 36mm) [53].

2.3. Choroba zwyrodnieniowa stawu kolanowego

Staw kolanowy jest najczęstszym miejscem występowania zmian zwyrodnieniowych. Zmiany zwyrodnieniowe w obrębie stawu kolanowego mogą być również pierwotne lub wtórne. Występują one częściej u mężczyzn po stronie prawej, u kobiet z kolei z równą częstością [54]. Choroba zwyrodnieniowa stawu kolanowego jest istotnym problemem społecznym - w Stanach Zjednoczonych jest to najczęstsza patologia w obrębie chorób wszystkich stawów [55].

Do wtórnych zmian zwyrodnieniowych stawu kolanowego może dochodzić w wyniku zaburzeń osi kończyn dolnych (kolana koślawe/szpotawe), urazowych uszkodzeń chrząstki, niestabilności więzadłowych (zaburzenia zwartości stawu), złamań śródstawowych i uszkodzeń łąkotek [56]. W przeglądzie systematycznym z 2016 roku podzielono chorobę zwyrodnieniową na sześć fenotypów [57]: 1) choroba z przewlekłym bólem – wzmożona odpowiedź nocycceptorów, 2) choroba z procesem zapalnym – podwyższone wskaźniki zapalne, 3) syndrom metaboliczny – nadwaga, cukrzyca i inne zaburzenia metaboliczne, 4) choroba z towarzyszącymi zmianami w metabolizmie kostnym i chrząstki, 5) choroba związana z szpotawością kończyny, 6) choroba z powolną progresją z niewielkimi objawami.

Jednym z pierwszych objawów choroby jest ból lokalizujący się zazwyczaj w przedniej lub przyśrodkowej części stawu. Dolegliwości te nasilają się głównie podczas chodzenia po schodach. Wraz z postępem choroby dochodzi do stopniowego ograniczenia ruchomości w obrębie stawu. Choroba może przebiegać z okresami zaostrzeń z towarzyszącym wysiękiem [58].

W diagnostyce choroby zwyrodnieniowej stawu kolanowego standardem postępowania jest wykonanie zdjęć telemetrycznych obydwu kończyn dolnych w całości na stojąco na tzw. kliszy długiej oraz bocznych. Warto również rozważyć wykonanie zdjęć osiowych rzepek, aby wykluczyć nieprawidłowości w obrębie stawu udowo-rzepakowego. Tylko zdjęcia RTG na stojąco z uwzględnieniem stawów skokowych i biodrowych pozwolą na precyzyjną analizę osi kończyn i tym samym dalsze planowanie leczenia. Pomocna w ocenie jest czterostopniowa klasyfikacja Kellgrena i Lawrence'a [59].

W leczeniu operacyjnym zmian zwyrodnieniowych stawu kolanowego jest wiele możliwości terapeutycznych. Poza całkowitą endoprotezoplastyką stawu kolanowego w przypadku wczesnych zmian zwyrodnieniowych można rozważyć protezoplastykę połowiczą lub ewentualne osteotomie mająca za zadanie przywrócenie prawidłowej osi kończyny. Leczenie operacyjne powinno być poprzedzone leczeniem farmakologicznym bądź fizjoterapią i ćwiczeniami. W swojej pracy przeglądowej Felson [60] zwraca uwagę, że osłabienie mięśnia czworogłowego koreluje z natężonym odczuwaniem bólu.

Najczęściej wykonuje się osteotomie typu DFO czyli Distal Femur Osteotomy - osteotomia w części dalszej kości udowej oraz HTO czyli High Tibial Osteotomy - osteotomia w bliższej części piszczeli. Powyższy podział to podział ze względu na lokalizację osteotomii, natomiast osteotomie dzieli się również na zamykające jak i otwierające - w zależności od tego czy wycinany jest i zabierany klin kostny, czy też wykonywane jest samo nacięcie, a następnie rozwarcie kości z pozostawieniem ewentualnego substytutu kostnego i zespolenia zapobiegającemu utraceniu uzyskanej osi [61].

2.4. Uszkodzenia tkanek miękkich wewnątrz stawu kolanowego

Jednymi z najczęstszych uszkodzeń w obrębie stawu kolanowego są uszkodzenia łąkotek. Dzielimy je na uszkodzenia typu podłużnego (np. rączki od koszyka), horyzontalnego, języczka, przytorebkowe oraz typu mieszanego w zależności od mechanizmu urazu [62].

Innymi dość częstymi uszkodzeniami w obrębie stawu kolanowego są uszkodzenia więzadeł. W zależności od mechanizmu urazu może dojść do uszkodzenia więzadeł pobocznych lub krzyżowych (krzyżowego tylnego lub/i krzyżowego przedniego). Powoduje to niestabilność stawu podczas ruchu [63]. Część pacjentów radzi sobie z niewielkimi uszkodzeniami w obrębie aparatu więzadłowego dzięki zachowanej stabilizacji mięśniowej [64].

Ponadto powyższym urazom mogą towarzyszyć również uszkodzenia chrząstki. Wraz z wiekiem zmiany te pogłębiają się prowadząc do choroby zwyrodnieniowej i sprawiają tym samym, że pacjent podświadomie odciąża bolącą kończynę. Uszkodzenia chrząstki są klasyfikowane w skali ICRS (International Cartilage Repair Society) od 0 do 4 (gdzie wartość zero oznacza zdrową chrząstkę, a wartość cztery zmiany obejmujące całą chrząstkę - z uwidocznieniem kości) [65]. Ubytki chrząstki zaopatrzuje się zwykle membranami kolagenowymi, które można również wykorzystywać do zaopatrywania uszkodzeń łąkotec [66].

Uszkodzenia w obrębie tkanek miękkich mogą wpływać na stabilność stawu (szczególnie uszkodzenia więzadłowe). Niestabilność aparatu więzadłowego może powodować uczucie uciekania stawu kolanowego, tym samym pacjent zaczyna używać aparatu mięśniowego, aby stabilizować staw. Stabilizacja ta jednak nie zawsze jest wystarczająca, co przekłada się na zaburzone wyniki badań posturograficznych. Howell i wsp. [67] zwrócili uwagę w przeglądzie systematycznym literatury, że może ona pozostawać zaburzona pomimo zabiegów rekonstrukcyjnych.

2.5.Rehabilitacja po zabiegach rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego i po zabiegach endoprotezoplastyki stawu biodrowego oraz kolanowego

Drugą połową sukcesu w przywróceniu pierwotnej funkcji stawu kolanowego po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego jest jego prawidłowa rehabilitacja pooperacyjna. Pacjenci po zabiegach często mają osłabienie mięśnia czterogłowego lub nieprawidłową ruchomość w obrębie stawu kolanowego (zmniejszony zakres lub zmieniony tor ruchu).

W przeglądzie systematycznym dotyczącym rehabilitacji po zabiegach rekonstrukcji więzadeł krzyżowych, w którym przeanalizowano literaturę od 1966 do 2005 roku zwrócono uwagę na: 1) stosowanie szyn CPM (Continuous Passive Motion), 2) wczesne obciążanie i wprowadzenie ruchu w stawie, 3) stosowanie ortez po zabiegu,

4) rehabilitacje w domu, 5) ćwiczenia w łańcuchu zamkniętym i otwartym, 6) elektryczną stymulację nerwowo-mięśniową. Autorzy wskazują, że szyny CPM nie polepszają wyników leczenia. Ponadto stwierdzono, że wczesne obciążanie zmniejsza bolesność w stawie udowo-rzepakowym. Wprowadzenie ruchu zmniejsza ryzyko artrofibrozy i zrostów pooperacyjnych. Z kolei stosowanie ortez po zabiegu nie ma znaczącego wpływu na wyniki leczenia. Rehabilitacja domowa z niewielkim nadzorem fizjoterapeutycznym u zmotywowanych pacjentów przynosi dobre skutki. W pierwszych 6 tygodniach należy prowadzić ćwiczenia w zamkniętym łańcuchu kinematycznym. Elektryczna stymulacja nerwowo-mięśniowa jeżeli ma być wprowadzona to tylko wczesnie w okresie pooperacyjnym, jednak przynosi ona jedynie poprawę funkcji mięśnia czworogłowego i nie wydaje się być konieczna w rehabilitacji po zabiegach rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego [68,69].

Powstał również nowszy przegląd systematyczny obejmujący lata 2006 do 2010. Autorzy włączyli do niego 29 prac spełniających kryteria CONSORT (Consolidated Standards of Reporting Trials). W przeglądzie tym stwierdzono, że ćwiczenia z szynami CPM są zbędne, podobnie jak ortozy po zabiegach. Nie stwierdzono również skutków ubocznych wczesnego obciążania. Potwierdzono również wniosek z wcześniejszego przeglądu systematycznego stwierdzający, że ćwiczenia w otwartym łańcuchu kinematycznym należy wprowadzać najwcześniej od 6 tygodnia po zabiegu [70].

Rehabilitacja po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego jest wielomiesięcznym złożonym zadaniem. W klasycznej rehabilitacji poza kilkoma ćwiczeniami na propriocepcję nie uwzględnia się wielu ćwiczeń balansowych.

Wpływ ćwiczeń po zabiegach endoprotezoplastyki stawu biodrowego został przeanalizowany w metaanalizie z 2018 roku. Metaanalizę sporządzono w oparciu o oświadczenie PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses). Uwzględniono w niej 10 prac, które wykazały, że ćwiczenia przekładają się bezpośrednio na lepsze wyniki funkcjonalne [71]. Ciekawą pracą przeglądową była praca Daunty i wsp., w której przeanalizowano również czy ćwiczenia przed zabiegami operacyjnymi endoprotezoplastyki stawu kolanowego i endoprotezoplastyki stawu biodrowego przekładają się na lepsze wyniki. Spośród czternastu artykułów uwzględnionych w przeglądzie tylko w jednej wykazano wpływ ćwiczeń przed zabiegami [72]. Dotyczyła ona endoprotezoplastyki stawu biodrowego.

Bardzo duże wieloośrodkowe badanie na temat usprawniania pacjentów po zabiegach endoprotezoplastyki stawu kolanowego i endoprotezoplastyki stawu biodrowego zostało przeprowadzone w Australii [73]. W dziewiętnastu szpitalach oceniono 818 pacjentów po zabiegu endoprotezoplastyki stawu biodrowego i 989 pacjentów po zabiegu endoprotezoplastyki stawu kolanowego. Wczesne usprawnianie (tzn. rehabilitacja w dniu zabiegu) pozwoliło uniknąć powikłań zakrzepowo zatorowych. Ponadto wykazano również, że zmniejsza ryzyko infekcji dróg moczowych, zapalenia płuc, zawału oraz udaru. W australijskim badaniu jedynie 9,4% pacjentów po zabiegu endoprotezoplastyki stawu biodrowego oraz 5,6% pacjentów po zabiegach endoprotezoplastyki stawu kolanowego miało rehabilitację w dniu zabiegu, pomimo tego, że ponad 41% zabiegów było zakończonych przed południem co teoretycznie powinno umożliwić wdrożenie rehabilitacji. Wykazano związek pomiędzy wielkością ośrodka operującego a odsetkiem pacjentów, którzy mieli rehabilitację w dniu zabiegu. Dla pacjentów po endoprotezoplastyce stawu kolanowego wykazano związek pomiędzy szybkim usprawnianiem, a brakiem konieczności przetaczania krwi. Dla grupy pacjentów po endoprotezoplastyce stawu biodrowego czynnikiem sprzyjającym szybkiej rehabilitacji był brak cewnika.

W procesie rehabilitacji po endoprotezoplastyce stawu biodrowego i kolanowego są obecne podstawowe wspólne etapy w postaci nauki siadania, pionizacji, nauki chodzenia o kulach oraz ćwiczenie wchodzenia po schodach. Dodatkowo w rehabilitacji po protezoplastyce stawu kolanowego jest prowadzona rehabilitacja z wykorzystaniem szyny CPM (Continous Passive Motion) – jest to urządzenie mające za zadanie wymusić powtarzalne zgięcie w stawie kolanowym w zakresie zdefiniowanym wcześniej przez rehabilitanta lub pacjenta. Z uwagi na coraz krótsze pobyty szpitalne - dawniej po zabiegach endoprotezoplastyki pacjenci pozostawali w szpitalu na 7 do 10 dni, aktualnie pobyty te wynoszą 4 do 5 dni, a w niektórych państwach takich jak np. Stany Zjednoczone Ameryki odbywają się one ambulatoryjnie. W związku z tym zespół Lenssen i wsp.[74] przebadali jak długo należy używać szyny CPM. Do badania zakwalifikowano 60 pacjentów, 30 z nich otrzymało fizjoterapię z dodatkowymi ćwiczeniami na szynie CPM podczas pobytu szpitalnego, druga połowa otrzymała dodatkowo szynę CPM do domu na okres dwóch tygodni z zaleceniem ćwiczeń czterech godzin dziennie. W grupie tej uzyskano lepszy zakres ruchu w stawie kolanowym. Z uwagi na skrócone pobyty szpitalne obecnie zaleca się pacjentom wypożyczenie szyn CPM do domu.

2.6. Badanie kliniczne pacjentów z zaburzeniami postury

Najważniejszymi narzędziami w ocenie klinicznej chorób wpływających na wady postawy pozostają wciąż dokładna anamneza i skrupulatne badanie kliniczne. Wiele schorzeń można wybadać dzięki dokładnemu badaniu klinicznemu oraz odniesieniu do strony kontrlateralnej (często zdrowej, bez dolegliwości). W badaniu klinicznym stosuje się również dodatkowe narzędzia takie jak zestaw desek do diagnostyki nierówności kończyn (Rycina 10.), miara, goniometr, skoliometr (Rycina 11.) [75].



Rycina 10. Narzędzie wykorzystywane przez autora do pomiaru nierówności kończyn dolnych. Wystandaryzowana grubość deseczek 5mm ułatwia pomiar wyrównania kończyn. Użycie dwóch kolorów niweluje możliwość popełnienia błędu podczas liczenia ilości deseczek. Produkcja: Orthopädie und Rehattechnik Dresden GmbH.



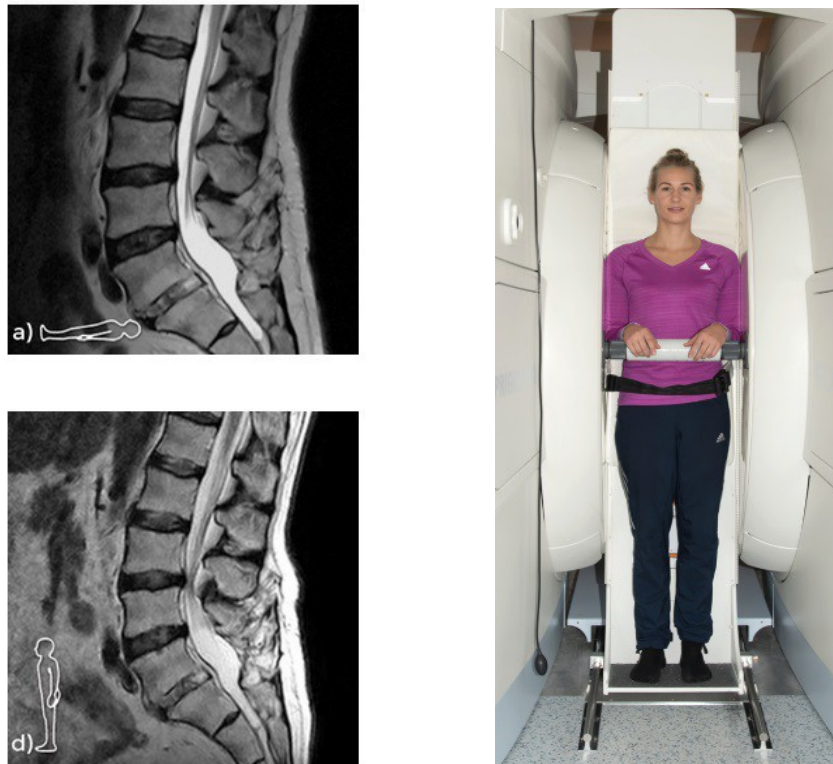
Rycina 11. Przystawka adaptująca smartfon do skoliometru. Opracowana przez poznańską Klinikę Chorób Kręgosłupa i Ortopedii Dziecięcej przystawka do smartfona pozwala zaadaptować dowolny smartfon do skoliometru. Umożliwia ona dokładny pomiar z wykorzystaniem wbudowanego w telefon żyroskopu.

Ponadto wielką pomocą są badania obrazowe: rentgenografia, tomografia komputerowa oraz rezonans magnetyczny. Dodatkowym badaniem może być również ultrasonografia - jej atutem jest możliwość wykonywania badania dynamicznie, w ruchu. Należy jednak uwzględnić ograniczenia części badań obrazowych - tylko badania wykonane na stojąco pokazują właściwe obciążenia i położenia poszczególnych elementów układu kostnego. Obecnie złotym standardem w diagnostyce zaburzeń posturalnych jest zdjęcie obu kończyn dolnych na kliszy długiej wykonane na stojąco oraz tzw. skoliozowe zdjęcie całego kręgosłupa zarówno w projekcji AP jak i bocznej [76].

Nowoczesna diagnostyka ortopedyczna zakłada również wykonywanie badań obrazowych na stojąco. Na rycinach 12 oraz 13 przedstawiono odpowiednio tomograf komputerowy oraz rezonans magnetyczny umożliwiający badanie na stojąco. Należy zwrócić uwagę na różnice w ucisku dysków na worek oponowy na wyniku rezonansu. Wiele niezależnych zespołów wykazało korzyści z tomografii [77] i rezonansu na stojąco [78, 79, 80].



Rycina 12. Tomograf umożliwiający badanie pacjenta w pozycji stojącej (źródło: Uniklinik Freiburg, Gelenk Klinikum)



Rycina 13. Różnice w badaniu rezonansu magnetycznego wykonanego w pozycji stojącej i leżącej (źródło: <https://www.upright-mrt.de/>)

Poza badaniami obrazowymi jest szereg innych badań pomocniczych służących diagnostyce zaburzeń posturalnych. Są to między innymi topografia powierzchniowa jak i również wcześniej omawiana posturografia. Topografia powierzchniowa jest metodą wykorzystującą odtworzenie kształtów na podstawie fotogramów (zdjęć fotogrametrycznych). Została użyta po raz pierwszy w diagnostyce skolioz dziecięcych przez Takasagiego w 1970 [81].

III. CELE PRACY

3.1. Główny cel pracy

Ocena wyników rehabilitacji po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego lub endoprotezoplastyce wspomaganej ćwiczeniami opartymi o posturografię z użyciem aplikacji Rossa Clarka.

3.2. Szczegółowe cele pracy

1. Walidacja i porównanie wyników posturografii opartej o platformę Wii Balance Board z posturografem referencyjnym.
2. Ocena wyników systemu posturografii opartego o dwie platformy Wii Balance Board.
3. Ocena badań posturograficznych u osób po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego lub endoprotezoplastyce.
4. Ocena wyników rehabilitacji wspomaganej ćwiczeniami opartymi o posturografię.

IV. MATERIAŁY I METODY

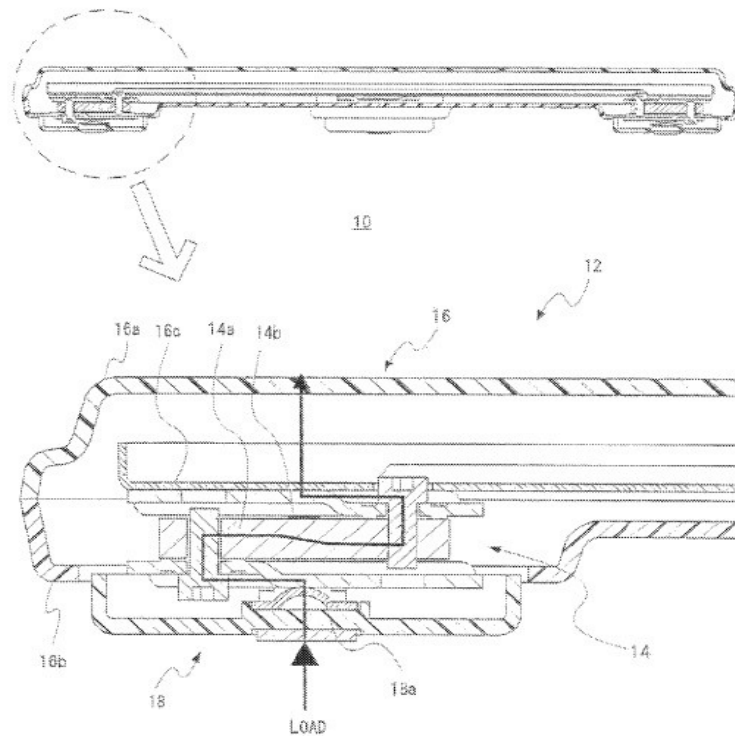
4.1 Aparatura pomiarowa

4.1.1 Badanie dwuplatformowe Wii Balance Board

Do badania wykorzystano dwie platformy Wii Balance Board firmy Nintendo oraz komputer klasy PC z systemem operacyjnym Windows 7 wyposażony w adapter Bluetooth (Rycina 14.). Platformy zasilono litowymi bateriami AA aby zapewnić stabilne zasilanie (okresowo mierzono napięcie).

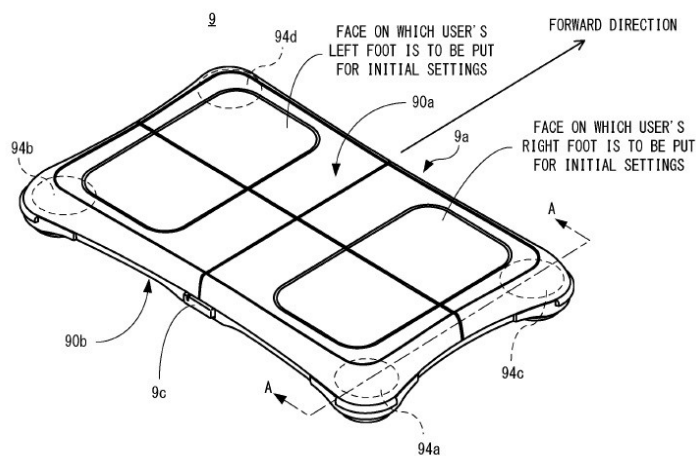


Rycina 14. Zestaw do pomiarów z wykorzystaniem aplikacji Rossa Clarka oraz dwóch platform Wii Balance Board (komunikacja poprzez protokół Bluetooth)

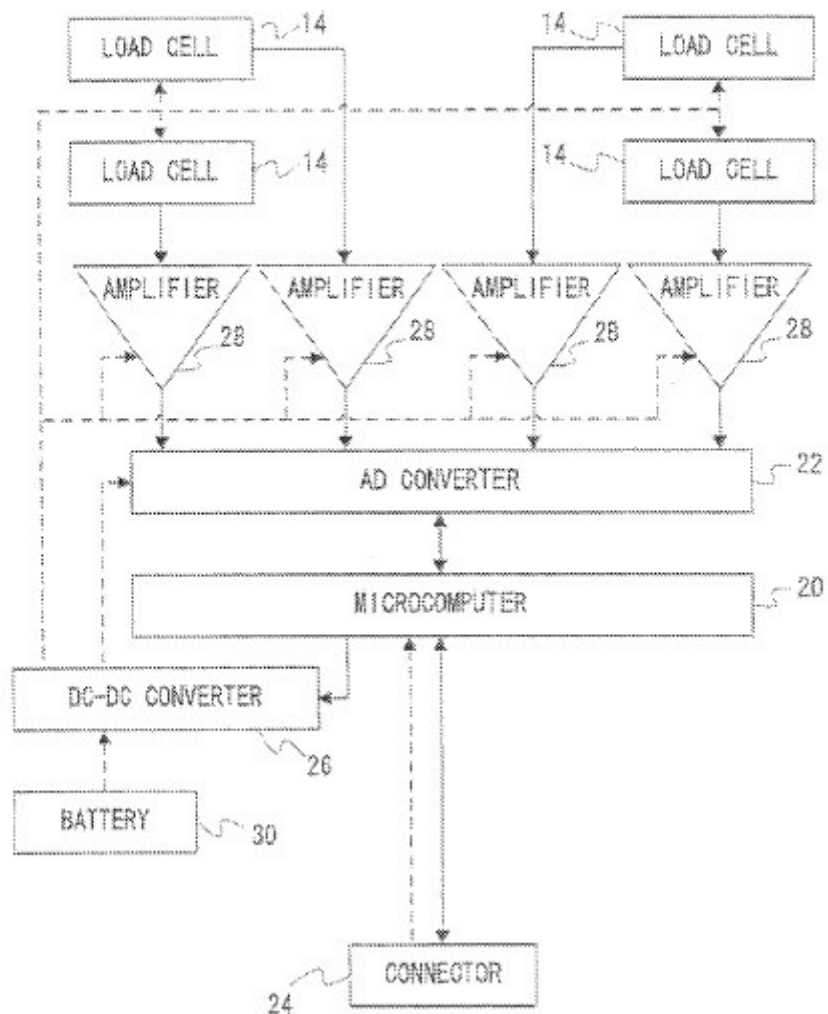


Rycina 15. Przekrój przez czujnik tensometryczny pochodzący z patentu firmy Nintendo (źródło US PATENT 9.289,680 B2)

Czujniki tensometryczne (Rycina 15.) w Wii Balance Board są zamontowane na czterech narożnikach metalowej ramy. Całość jest ukryta w plastikowej obudowie (Rycina 16.), dodatkowo producent wykonał plastikową nóżkę, która stanowi swego rodzaju ochronę i nakładkę na czujnik tensometryczny (z założenia urządzenie jest przenośne i bezprzewodowe).

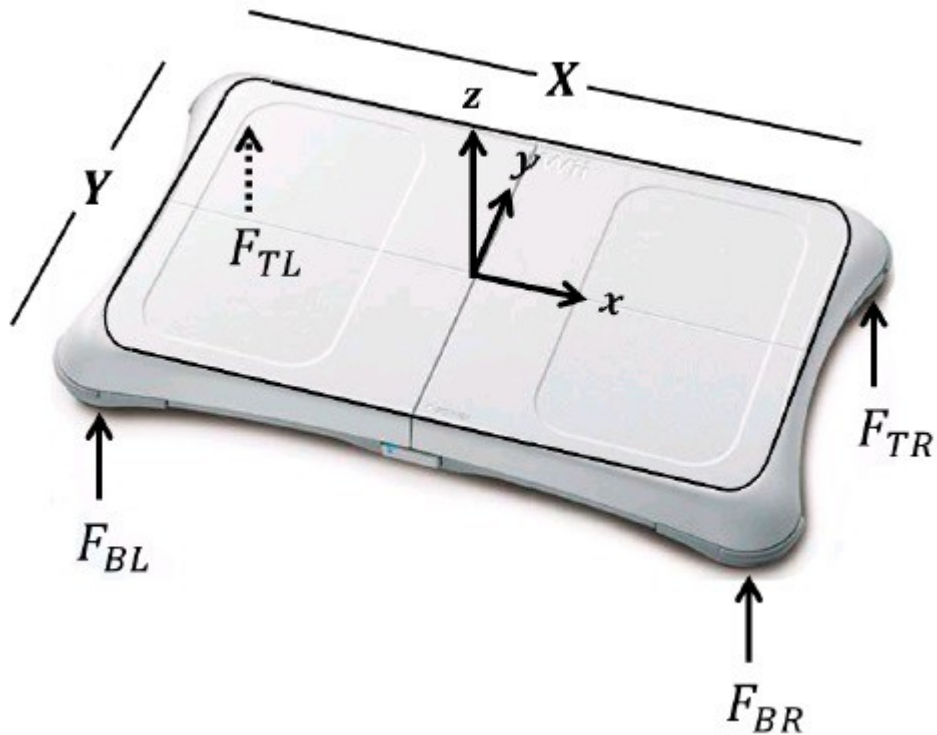


Rycina 16. Ostateczny kształt Wii Balance Board (źródło: US PATENT 9.205,327 B2)



Rycina 17. Schemat działania Wii Balance Board (źródło: US PATENT 9.289,680 B2)

Platforma Wii Balance Board składa się z układu czterech czujników tensometrycznych (Rycina 17.). Każdy z nich wytwarza analogowy sygnał elektryczny, którego wartość zmienia się w zależności od nacisku. Bardzo istotnym układem dla stabilności sygnału jest mostek typu DC/DC. Zapewnia on przekształcenie napięcia 6V DC uzyskanego dzięki czterem paluszkom AA na niższe i stabilniejsze dedykowane dla konkretnej serii czujników tensometrycznych. Sygnały z czujników tensometrycznych są na tyle słabe, że wymagają wzmocnienia. Następnie są przetwarzane przez czterokanałowy układ scalony z formy analogowej do cyfrowej (przetwornik typu AD - Analog Digital Converter). Dane te wpływają do mikroprocesora, który konwertuje je na bezprzewodowy sygnał zgodny z protokołem Bluetooth.



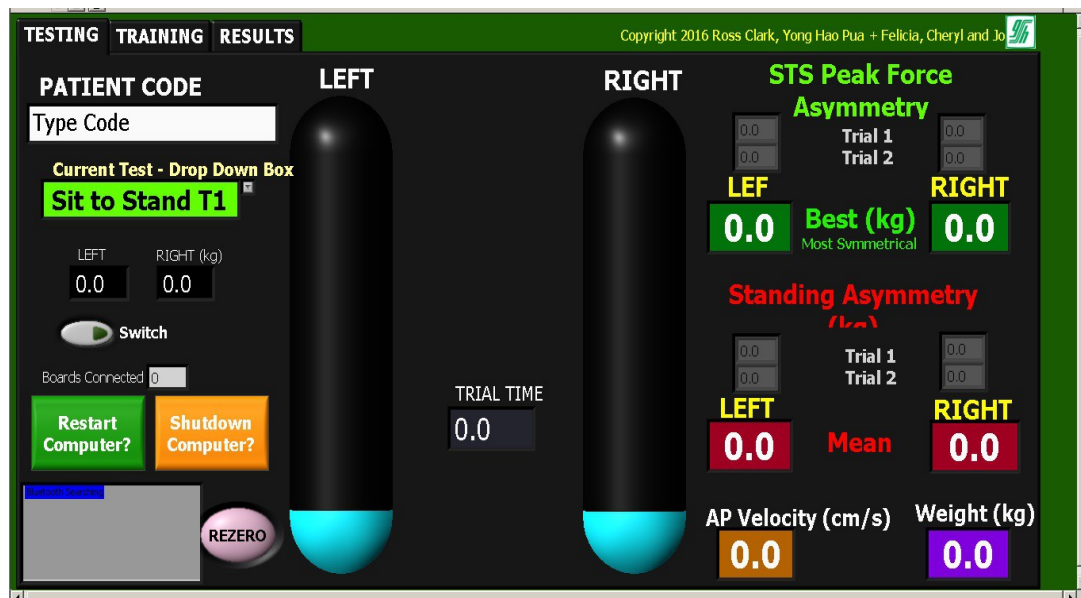
Rycina 18. Możliwość analizy ruchu przy użyciu Wii Balance Board (źródło Leach i wsp. [82])

Odbiór danych z czterech narożników platformy odbywa się za pomocą sterownika i aplikacji. Uzyskanie czterech wartości nacisku oraz ich zmian w czasie pozwala na rejestrację wychyleń/ruchu osoby znajdującej się na platformie. Uzyskanie tych wartości pozwala na prześledzenie wychyleń pacjenta w osiach przód-tył oraz lewo-prawo (Rycina 18.). Ponadto jeżeli pacjent będzie stał obunóż na dwóch niezależnych platformach pozwoli to na zarejestrowanie ewentualnej zmiany nacisku pomiędzy kończynami.

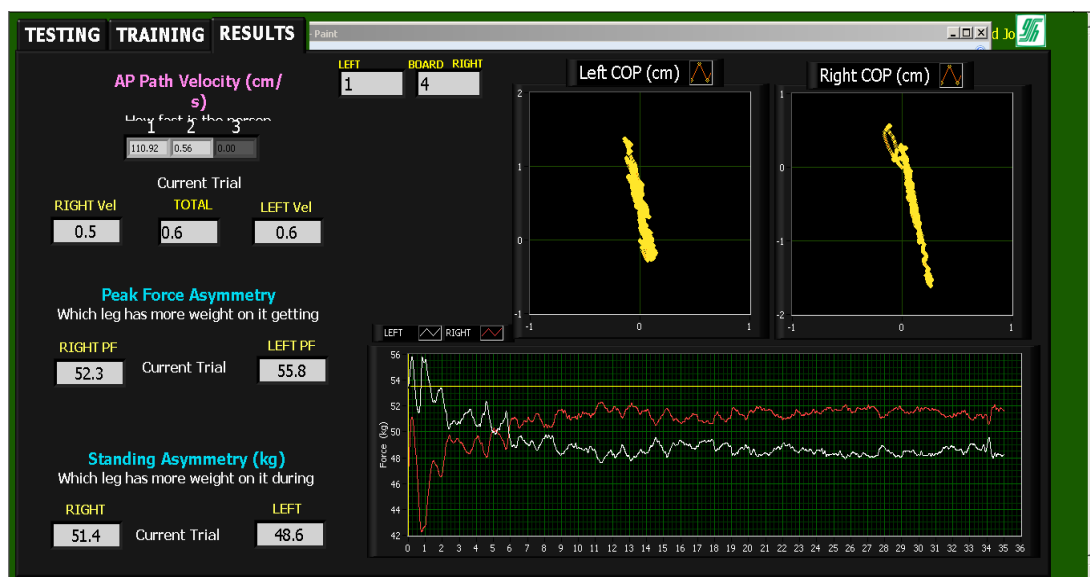
4.1.2. Opis Techniczny Aplikacji Rossa Clarka

Aplikacja napisana przez Profesora Rossa Clarka (Rycina 19.) wykorzystuje nowatorski pomiar z użyciem dwóch platform Wii Balance Board. Profesor Clark z zespołem napisali sterownik Bluetooth i aplikację umożliwiającą stabilne połączenie z dwoma platformami na raz i z synchronicznymi odczytami.

Aplikacja ta umożliwia odczyt z rozdzielczością 100Hz. W ciągu sekundy jest zapisywanych 1000 wartości w wyjściowych plikach typu CSV. Na wartości te składa się sto pomiarów na sekundę dla każdej platformy. Co 10 milisekund zapisywana jest informacja o obciążeniu danej platformy oraz wychylenia środka ciężkości w osiach AP i strzałkowej (Rycina 20.). Dodatkowo przechowywane są dane o położeniu środka ciężkości względem początku badania - aplikacja dokonuje automatycznej korekty i kalibracji. Ponadto po każdym pomiarze badany musi zejść z platformy aby dokonać ponownej autokalibracji urządzenia. Uzyskane wyników w formie plików z metadanymi pozwalają na obliczenie dowolnych składowych.



Rycina 19. Ekran główny aplikacji profesora Rossa Clarka



Rycina 20. Ekran z wynikami pomiarów aplikacji profesora Rossa Clarka

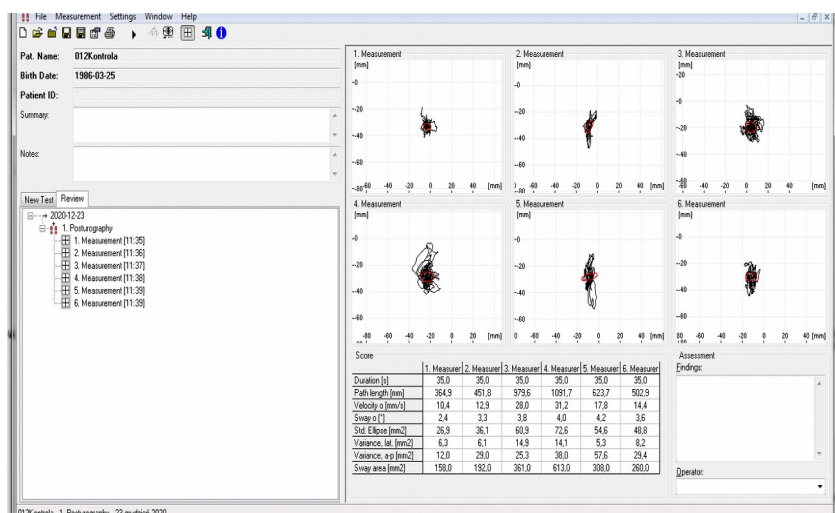
4.1.3 Platforma Otometrics ICS Balance Platform

Do pomiarów kontrolnych wykorzystano platformę Otometrics ICS Balance Platform ENKE-Platform E0508 (Rycina 21.) oraz dostarczone oprogramowanie VestLab w wersji 7.1. (Rycina 22.). Platforma ta posiada cztery czujniki tensometryczne, umożliwiając odczyt danych z rozdzielczością 50Hz [83].



Rycina 21. Zestaw do walidacji ICS (komunikacja przewodowa przez port USB)

Komunikacja z urządzeniem jest stabilna dzięki zastosowaniu magistrali USB. Z uwagi na to jakość zasilania urządzenia jest uzależniona od komputera zewnętrznego i ograniczona do 5V DC. Urządzenie posiada regularne przeglądy i było wielokrotnie walidowane w Katedrze Biofizyki UM w Poznaniu.



Rycina 22. Zrzut ekranu z aplikacji VestLab 7.1. dostarczonej wraz platformą

Standardowe badanie posturograficzne w aplikacji VestLab składa się z sześciu pomiarów. Na ekranie prezentowane są statokinezyjogramy. Ponadto końcowe parametry i wyniki są przedstawiane w formie tabeli. Możliwe do odczytu parametry to: czas badania, przebyta droga (path length), prędkość (velocity), wychylenie w stopniach (sway), parametr "standing ellipse" w mm², wariancja przód-tył i boczna, powierzchnia wychylenia (sway area). Niestety program przedstawia jedynie wynik końcowy, nie jest możliwa analiza fragmentu badania i konkretnych zapisów z wybranego przedziału czasowego.

4.1.4. Walidacja układu pomiarowego Wii Balance Board

Do zwalidowania układu pomiarowego opartego o Wii Balance Board zastosowano obciążanie statyczne w różnych miejscach platformy. Sprawdzone zgodność odczytu czujników, jakość połączenia Bluetooth i możliwe odchylenia pomiarów. Wykorzystywano trzy platformy - dwie do pomiarów oraz jedną rezerwową.

4.2. Badanie Kontrolne - walidacja układu pomiarowego Wii Balance Board z urządzeniem referencyjnym

Do badania kontrolnego kwalifikowano zdrowych ochotników według kryteriów włączenia i wyłączenia opisanych poniżej.

Kryteria włączenia: wiek 18-60 lat, masa ciała 40 – 130 kg, wzrost 160 -200cm, chęć udziału w badaniu i podpisanie świadomej zgody na udział w badaniu.

Kryteria wyłączenia: operacja endoprotezoplastyki lub rekonstrukcji więzadłowej w wywiadzie lub inna operacja ortopedyczna mogąca wpłynąć na zaburzenia balansu, niedowład połowiczny, zdiagnozowane zaburzenia błędniaka, pacjenci po amputacjach lub z nierównością kończyn dolnych.

Uczestnicy w dniu badania nie zgłaszali dolegliwości, wszyscy byli aktywni zawodowo. Wszyscy uczestnicy wyrazili świadomą pisemną zgodę na przeprowadzenie badania oraz na przetwarzanie danych. Zgoda na badanie była aprobowana przez lokalną Komisję Bioetyczną.

Po wyrażeniu świadomej zgody na badanie i po zebraniu anamnezy oraz po przejściu skróconego badania ortopedycznego badani przeszli w pierwszej kolejności 6 testów po 35 sekund na platformie ICS zgodnie ze schematem opisanym w Tabeli 1.

Tabela 1. Badania walidujące na jednej platformie ICS

Numer Testu	Opis Testu	Czas Trwania (sekundy)
Test 1	Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy otwarte	35
Test 2	Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy otwarte	35
Test 3	Stanie na prawej nodze, oczy otwarte	35
Test 4	Stanie na lewej nodze, oczy otwarte	35
Test 5	Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy zamknięte	35
Test 6	Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy zamknięte	35

Następnie u uczestników powtórzono powyższe testy z użyciem tylko jednej platformy Wii Balance Board zgodnie ze schematem opisanym w Tabeli 2.

Tabela 2. Badanie walidujące na Wii Balance Board z użyciem jednej platformy

Numer Testu	Opis Testu	Czas Trwania (sekundy)
Test 1	Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy otwarte, jedna platforma	35
Test 2	Stanie na prawej nodze, oczy otwarte, jedna platforma	35
Test 3	Stanie na lewej nodze, oczy otwarte, jedna platforma	35
Test 4	Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy zamknięte, jedna platforma	35

Następnie dokonano ponownych pomiarów z wykorzystaniem dwóch platform Wii Balance Board. Po jednej platformie dla każdej kończyny dolnej zgodnie ze schematem opisanym w Tabeli 3.

Tabela 3. Badanie walidujące na Wii Balance Board z użyciem dwóch platform

Numer Testu	Opis Testu	Czas Trwania (sekundy)
Test 5	Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy otwarte, dwie platformy	35
Test 6	Stanie na prawej nodze, oczy otwarte, prawa platforma	35
Test 7	Stanie na lewej nodze, oczy otwarte, lewa platforma	35
Test 8	Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy zamknięte, dwie platformy	35

4.3. Badanie chorych

Do badania zrekrutowano chorych ze Specjalistycznego Centrum Medycznego im. św. Jana Pawła II S.A. w Polanicy Zdroju oraz Poradni Ortopedycznej Polikliniki Panaceum w Łądku Zdroju. Chorzy byli badani po zabiegach operacyjnych na Oddziale Urazowo-Ortopedycznym lub w Poradni Ortopedycznej. Wszyscy uczestnicy wyrazili świadomą pisemną zgodę na przeprowadzenie badania oraz na przetwarzanie danych osobowych. Zgoda na badanie była aprobowana przez Komisję Bioetyczną Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu (Uchwała 905/16, Uchwała 1165/19, Uchwała 168/20) oraz Szpital. Pacjenci kwalifikowani byli do badania w oparciu o poniżej wymienione kryteria włączenia i wyłączenia.

Kryteria włączenia: wiek 18-80 lat, masa ciała 50-110 kg, wzrost 150-200 cm, choroba zwyrodnieniowa stawu biodrowego lub kolanowego kwalifikująca do zabiegu endoprotezoplastyki lub uszkodzenie więzadła krzyżowego przedniego kwalifikujące do zabiegu.

Kryteria wyłączenia: pacjenci z niedowładem połowicznym, pacjenci ze zdiagnozowanymi zaburzeniami błędniaka, pacjenci po amputacjach.

U każdego pacjenta przed badaniem zbierano wywiad, oraz wykonywano badanie ortopedyczne ze szczególnym uwzględnieniem zaburzeń postury, ewentualnych deformacji lub ew. skręceń kończyn (wykorzystywano pomoce z Rycin 10. i 11.).

U każdego pacjenta wykonano pomiary z wykorzystaniem zarówno pojedynczej jak i dwóch platform Wii Balance Board, po jednej platformie dla każdej kończyny dolnej zgodnie ze schematem opisanym w Tabeli 4 i 5.

Tabela 4. Badanie chorych na Wii Balance Board z użyciem jednej platformy

Numer Testu	Opis Testu	Czas Trwania (sekundy)
Test 1	Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy otwarte, jedna platforma	35
Test 2	Stanie na prawej nodze, oczy otwarte, jedna platforma	35
Test 3	Stanie na lewej nodze, oczy otwarte, jedna platforma	35
Test 4	Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy zamknięte, jedna platforma	35

Tabela 5. Badanie chorych i pomiary z użyciem dwóch platform

Numer Testu	Opis Testu	Czas Trwania (sekundy)
Test 5	Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy otwarte, dwie platformy	35
Test 6	Stanie na prawej nodze, oczy otwarte, prawa platforma	35
Test 7	Stanie na lewej nodze, oczy otwarte, lewa platforma	35
Test 8	Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy zamknięte, dwie platformy	35

4.4 Mierzone parametry

W obydwu zestawach pomiarowych zbierano następujące parametry:

1) Długość drogi (PATH LENGTH) - jest to odległość jaką przebył środek ciężkości pacjenta w układzie pomiarowym. W praktyce jest liczona jako zbiór odcinków pomiędzy zarejestrowanymi wychyleniami pacjenta w układzie współrzędnych przód tył (ANTERIOR-POSTERIOR, AP axis) oraz lewo prawo (LATERAL axis). W zależności od urządzenia pomiary były próbkowane co 2 ms w urządzeniu ICS i co 1ms w WiiBalanceBoard.

2) Prędkość (VELOCITY) w mm/s - na podstawie czasu pomiaru i obliczonej długości drogi można obliczono średnią prędkość z jaką środek ciężkości pacjenta przemieszczał się w układzie współrzędnych.

3) Zmienność przód-tył (AP VARIANCE) jest to parametr pokazujący maksymalne wychylenia w osi przód-tył. Pozwala oceniać przemieszczenia pacjenta związane np. z przodopochyleniem miednicy.

4) Zmienność boczna (LATERAL VARIANCE) jest to parametr pokazujący maksymalne wychylenia w osi lewo-prawo. Pozwala oceniać przemieszczenia pacjenta związane np. z odciążaniem przez pacjenta chorej strony podczas stania obunóż.

5) Pole powierzchni (SWAY AREA) jest to szacunkowe pole określone przez środek ciężkości wyrażone w mm².

4.5. Rehabilitacja

Do standardowych ćwiczeń po endoprotezoplastyce stawu biodrowego należą:

- 1) Zginanie nogi w stawie skokowym
- 2) Zginanie kolana z podparciem stopy o łóżko
- 3) Ćwiczenia odwodzenia
- 4) Unoszenie wyprostowanej kończyny.

Po endoprotezoplastyce stawu kolanowego poza ćwiczeniem przez pacjentów na szynie CPM (Continous Passive Motion) pacjenci standardowo wykonywali następujące ćwiczenia: 1) Prostujące staw kolanowy (ćwiczenie przeprostu) 2) Zginanie kolana na siedząco z podparciem lub bez 3) Unoszenie wyprostowanej kończyny 4) Ćwiczenia mięśnia czworogłowego. Po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego zalecano standardowo ćwiczenia wzmacniające mięsień czworogłowy oraz zachęcano pacjentów do mobilizacji rzepki.

Pacjentom, u których stwierdzono większe ryzyko upadku, zalecono rehabilitację ze szczególnym uwzględnieniem ćwiczeń proprioceptyjnych. Za wartość, która kwalifikowała pacjentów do grupy z większym ryzykiem upadku uznano prędkość wychyleń powyżej 30mm/s podczas testu obunóż z oczami otwartymi.

Ze względu na występujące u tych chorych zwiększone ryzyko upadku, zalecono im dłuższe korzystanie z zaopatrzenia ortopedycznego w postaci kul łokciowych. Chorzy otrzymali zalecenie standardowych ćwiczeń pooperacyjnych jak po zabiegach endoprotezoplastyki lub operacji naprawczych w obrębie stawu kolanowego jednak z zaleceniem łagodniejszego, mniej forsownego ich wykonywania.

Dodatkowo przygotowano dla pacjentów zestaw trzech bezpiecznych ćwiczeń proprioceptywnych w pozycji siedzącej: 1) obrysowanie na kartce papieru konturu stopy operowanej kończyny dolnej, następnie stawianie stopy na tej kartce z zachowaniem trójpunktowego łańcucha kontaktu (pięta - następnie V palec stopy - potem paluch), celem ćwiczenia jest nieprzesuwanie kartki podczas jej dotykania, 2) przesuwanie butelki po podłodze stopą operowanej kończyny, podnoszenie butelki dwoma stopami lub zakup dysku sensomotorycznego i ćwiczenie nacisku na niego stopą operowanej kończyny 3) naprzemienne podnoszenie kończyny dolnej i przeciwstawnej kończyny górnej. Zalecono wykonywanie zestawu ćwiczeń dwa razy dziennie po 15 minut.

Pacjenci wyrazili zgodę na kontakt telefoniczny po trzech miesiącach celem ustalenia czy nastąpił upadek. Numery telefonów zostały zebrane dobrowolnie wraz z nową zaktualizowaną w 2020 roku zgodą na przetwarzanie danych osobowych.

4.6. Analiza statystyczna

Uzyskane wyniki badań zaprezentowano używając miary rozproszenia statystyki opisowej, takie jak: mediana, IQR (interquartile range), minimum i maksimum. Do porównań pomiędzy grupami wykorzystano testy U Manna-Whitneya z uwagi na brak rozkładu normalnego, który weryfikowano wstępnie testem D'Agostino i Pearsona. Celem walidacji Wii Balance Board zestawiono dane pomiędzy profesjonalną platformą posturograficzną (ICS) na wykresach Blanda-Altmana [84]. Jest to najczęściej wykorzystywany rodzaj wykresu w analizie urządzeń biomedycznych. Poza pokazaniem odchyleń pomiędzy dwoma urządzeniami, wykres ten pozwala też na przedstawienie graficzne średniej wartości o jaką dane urządzenie zawyża bądź zaniża pomiary. Dla wszystkich analizowanych zmiennych przyjęto poziom istotności statystycznej $\alpha = 0,05$. Obliczeń dokonano przy wykorzystaniu Statistica 13.3. (StatSoft Polska). Wykresy statokinezyjogramów wykonano przy pomocy programu Origin Pro 2021 (OriginLab Corporation).

V. WYNIKI

5.1 Uwagi techniczne

Empirycznie podczas pierwszych prób stwierdzono, że użycie standardowych baterii alkalicznych lub częściowo rozładowanych baterii lub zasilania z zasilacza bez stabilizacji napięcia powodowało lekkie oscylacje mierzonych wartości. Ostatecznie zastosowano baterie litowe, które dawały największą stabilność pomiarów.

Równie istotna okazała się odległość platform Wii Balance Board od komputera. Z uwagi na konieczność komunikacji z dwoma urządzeniami Bluetooth jednocześnie zaobserwowano zrywanie połączenia Bluetooth lub okresowe zaniki odczytu danych przy zwiększeniu odległości powyżej dwóch metrów.

Ponadto dla prawidłowego działania oprogramowania konieczne było zainstalowanie systemu Windows 7 w wersji anglojęzycznej z ustawieniem preferencji językowych na Australię. Po przeinstalowaniu systemu osiągnięto stabilną pracę systemu pomiarowego. Problem zgłoszono Prof. Calrkowi.

5.2 Walidacja platformy Wii Balance Board z platformą ICS

5.2.1 Charakterystyka populacji

Badanie kontrolne przeprowadzono w latach 2020-2021. Uczestniczyło w nim 25 ochotników spełniających kryteria włączenia i wyłączenia. Grupa składała się ze zdrowych aktywnych zawodowo osób, 13 kobiet i 12 mężczyzn w wieku 26-65 lat (mediana 35lat), o prawidłowej budowie ciała i wzroście 162-194cm (mediana 175,5cm) oraz masie ciała 49-122kg (mediana 75kg).

5.2.2 Analiza statystyczna wyników

Wyniki pomiarów kolejnych testów na standardowym układzie pomiarowym (ICS) i na jednej platformie Wii Balance Board przedstawiono w Tabeli 6. Uwzględniono cztery testy: TEST 1 - pomiar stanie obunóż oczy otwarte, TEST 2 - pomiar jednonóż, prawa kończyna dolna, oczy otwarte, TEST 3 - pomiar jednonóż, lewa kończyna dolna, oczy otwarte, TEST 4 - pomiar obunóż, oczy zamknięte. W każdym teście i dla wszystkich ocenianych parametrów nie wykazano istotnych statystycznie różnic potwierdzając tym samym wysoką zgodność pomiędzy ocenianymi metodami badawczymi. W pomiarach jednonóż (Test 2 i Test 3) otrzymano wyższe wartości wszystkich pomiarów niż w pomiarach obunóż (Test 1 i Test 4). Porównując pomiary dwunożne (Test 1 i Test 4) otrzymano wyższe wartości przy oczach zamkniętych.

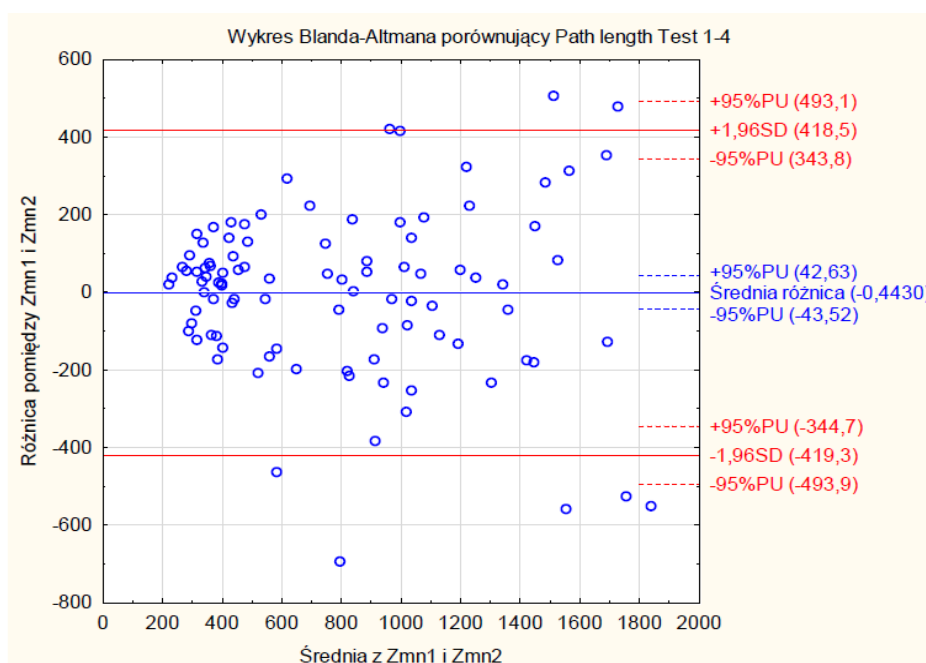
Tabela 6. Porównanie wyników systemu pomiarowego ICS z pomiarami z wykorzystaniem jednej platformy Wii Balance Board (podano dwie liczby znaczące)

		ICS (standardowy posturograf)				Wii Balance Board				p
		Med.	IQR	Min	Max	Med.	IQR	Min	Max	
Test 1	Długość drogi (mm)	370	130	230	780	340	150	210	1100	0,44
	Prędkość (mm/s)	11	3,8	7,4	22	9,8	4,4	6,1	33	0,37
	Wariancja Boczna (mm)	6,2	9,8	2,1	110	18	21	4,6	160	0,059
	Wariancja AP (mm)	21	22	6,8	48	27	15	13	55	0,080
	Pole pow. (mm ²)	170	160	70	600	160	180	51	670	0,99
Test 2	Długość drogi (mm)	1100	420	720	2030	1100	490	690	2020	0,88
	Prędkość (mm/s)	34	11	21	58	31	15	20	58	0,60
	Wariancja Boczna (mm)	23	13	13	110	26	9,4	17	42	0,22
	Wariancja AP (mm)	44	44	19	210	42	19	29	85	0,31
	Pole pow. (mm ²)	550	370	300	1700	420	520	120	1070	0,35
Test 3	Długość drogi (mm)	1100	560	550	1900	1100	400	750	2100	0,98
	Prędkość (mm/s)	32	15	18	17	33	12	21	60	0,89
	Wariancja Boczna (mm)	23	20	9,9	58	24	7,7	18	87	0,94
	Wariancja AP (mm)	610	43	17	120	41	24	25	110	0,98
	Pole pow. (mm ²)	1100	350	180	1200	590	490	120	1300	0,17
Test 4	Długość drogi (mm)	430	190	240	840	430	168	170	840	0,24
	Prędkość (mm/s)	12	5,1	8,0	24	12	4,6	6,9	24	0,26
	Wariancja Boczna (mm)	10	6,7	1,5	72	14	14	6,7	84	0,25
	Wariancja AP (mm)	26	25	7,9	68	28	13	14	60	0,73
	Sway Area	220	170	77	450	200	200	73	770	0,61

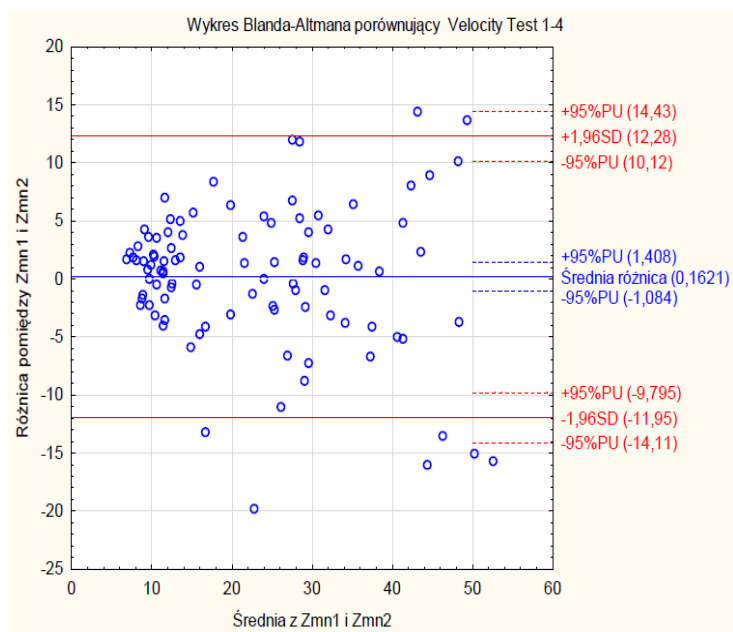
Opis: Med.- Mediana, IQR– interquartile range (rozstęp ćwiartkowy), Min. - minimum, Max.- maksimum

5.2.3 Porównanie wyników pomiarów metodą Blanda-Altmana

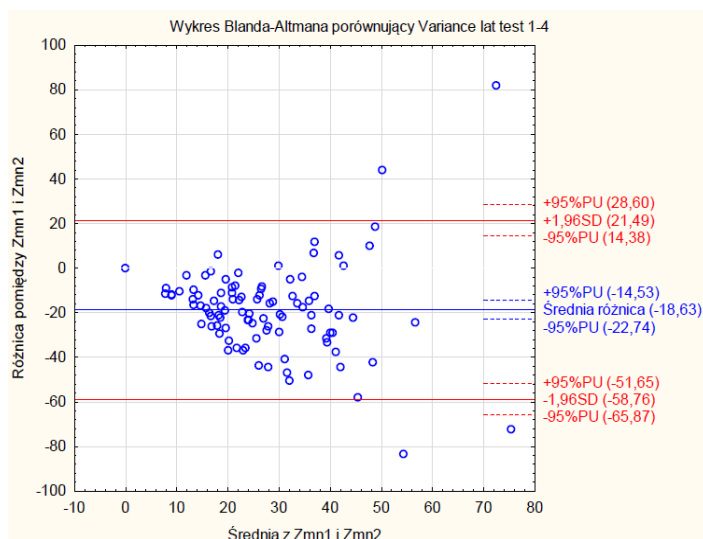
Porównanie wyników pomiarów pomiędzy platformami ICS oraz Wii Balance Board wykonano metodą Blanda-Altmana. Dla każdego z analizowanych parametrów porównano 100 pomiarów (po 25 z każdego testu z czterech rodzajów testów tzn. 1) stanie obunóż z oczami otwartymi, 2) stanie jednońóz na prawej kończynie dolnej, 3) stanie jednońóz na lewej kończynie dolnej, 4) stanie obunóż z oczami zamkniętymi) na każdej platformie. Porównania przedstawiono kolejno na rycinach 23 do 27. Zauważono wysoką zgodność parametrów długości przebytej drogi (średnia różnica 0,44mm), prędkości (średnia różnica 0,16mm/s) oraz pola powierzchni (średnia różnica 0,6mm²). Dla wariacji bocznej oraz w osi przód-tył zaobserwowano wyższe średnie różnice, jednak tylko 4-5% pomiarów przekraczało przedział zgodności.



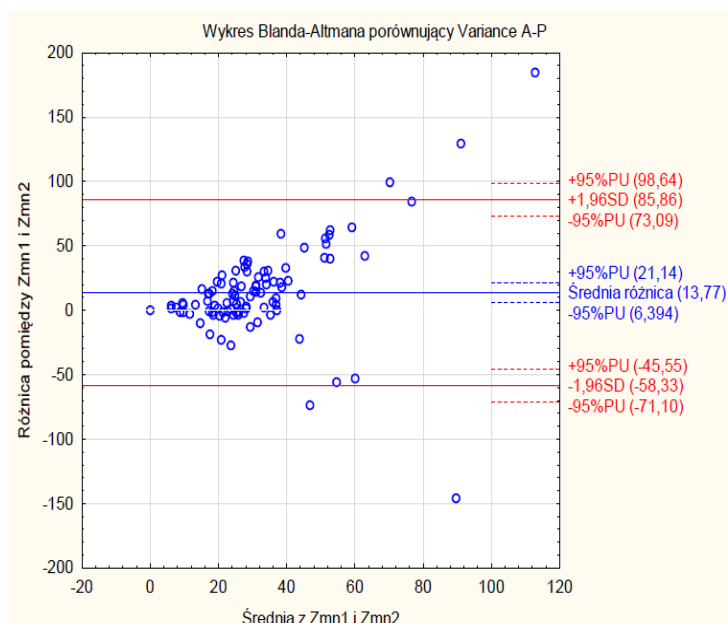
Rycina 23. Zbiorczy wykres Blanda-Altmana dla parametru przebytej drogi dla czterech testów walidujących (TESTY: 1) stanie obunóż z oczami otwartymi, 2) stanie jednońóz na prawej kończynie dolnej, 3) stanie jednońóz na lewej kończynie dolnej, 4) stanie obunóż z oczami zamkniętymi), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard.



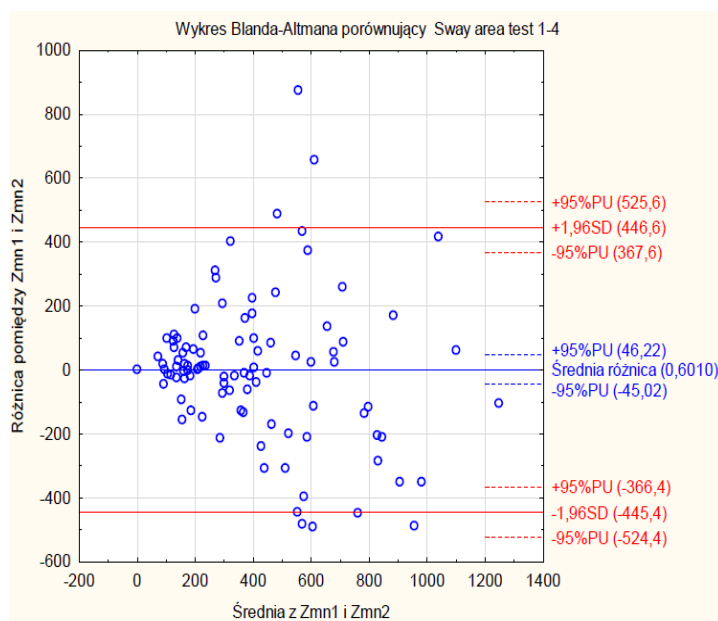
Rycina 24. Zbiorczy wykres Blanda-Altmana dla parametru prędkości dla czterech testów walidujących (TESTY : 1)stanie obunóż z oczami otwartymi, 2)stanie jednonóż na prawej kończynie dolnej, 3)stanie jednonóż na lewej kończynie dolnej, 4)stanie obunóż z oczami zamkniętymi), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard.



Rycina 25. Zbiorczy wykres Blanda-Altmana dla parametru zmienności wychyleń w osi lewo-prawo dla czterech testów walidujących (TESTY: 1)stanie obunóż z oczami otwartymi, 2)stanie jednonóż na prawej kończynie dolnej, 3)stanie jednonóż na lewej kończynie dolnej, 4)stanie obunóż z oczami zamkniętymi), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard.

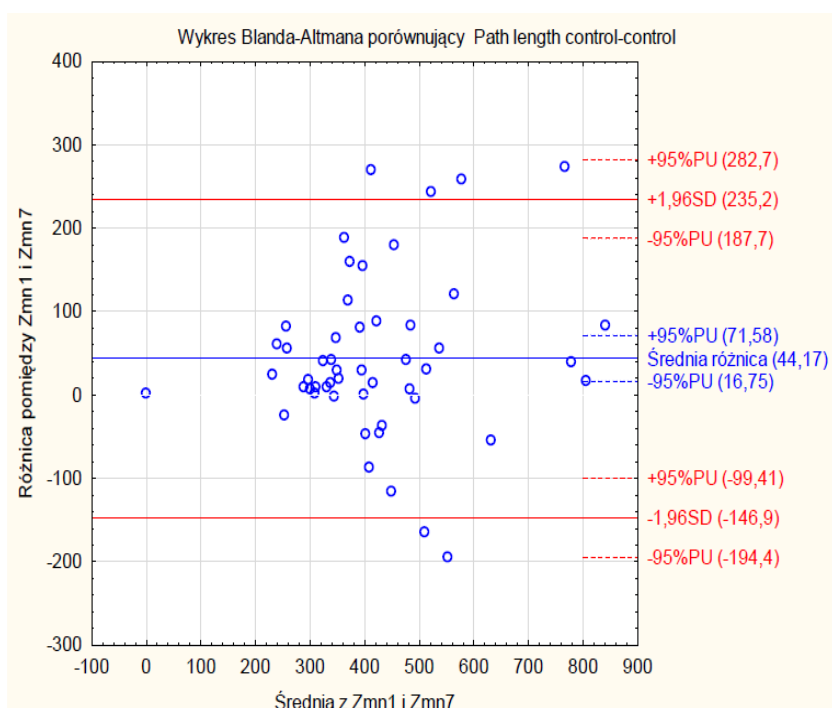


Rycina 26. Zbiorczy wykres Blanda-Altmana dla parametru parametru zmienności wychyleń w osi przód-tył dla czterech testów walidujących (TESTY: 1)stanie obunóż z oczami otwartymi, 2)stanie jednonóż na prawej kończynie dolnej, 3)stanie jednonóż na lewej kończynie dolnej, 4)stanie obunóż z oczami zamkniętymi), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard.

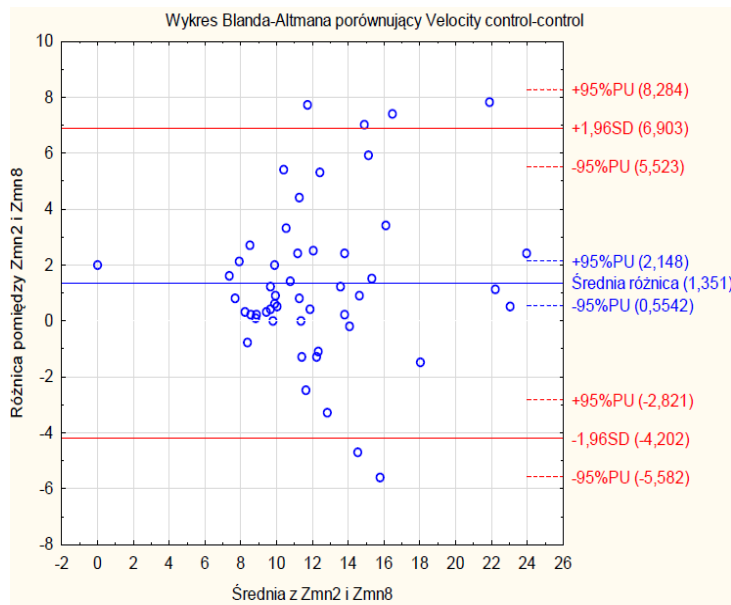


Rycina 27. Zbiorczy wykres Blanda-Altmana dla parametru pola powierzchni dla czterech testów walidujących (TESTY: 1)stanie obunóż z oczami otwartymi, 2)stanie jednonóż na prawej kończynie dolnej, 3)stanie jednonóż na lewej kończynie dolnej, 4)stanie obunóż z oczami zamkniętymi), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard.

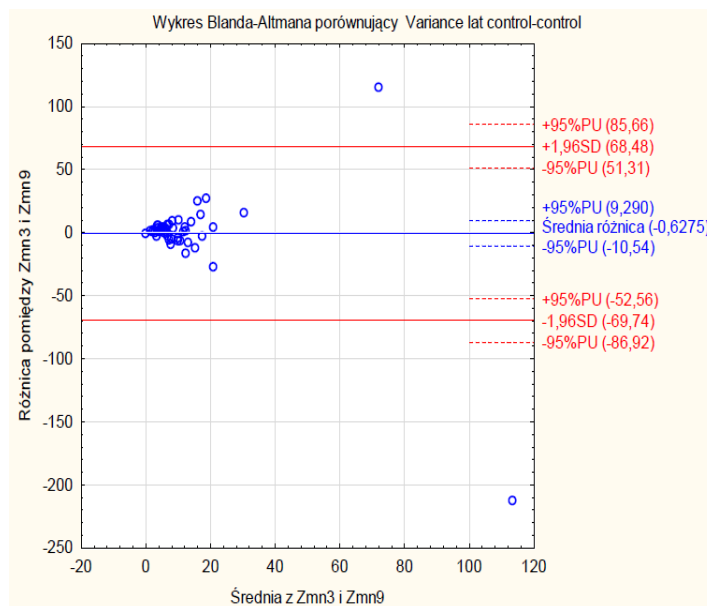
Wykorzystując metodę Blanda-Altmana porównano również identyczne testy na tym samym standardowym urządzeniu pomiarowym - platforma ICS (Test 1 vs. Test 2 oraz Test 5 vs. Test 6 na platformie ICS). Dla każdego z analizowanych parametrów porównano 50 pomiarów (25 pomiarów z Test 1 vs. Test 2 oraz 25 pomiarów Test 5 vs. Test 6). Porównania przedstawiono kolejno na rycinach 28 do 32. Powtórny pomiar wykonany u tego samego pacjenta na tym samym urządzeniu dawał porównywalne wyniki w przypadku prędkości oraz wariancji zarówno bocznej jak i przód-tył, ale wyższe różnice w przypadku przebytej drogi oraz pola powierzchni. Co ważne pomiary również dostarczyły pojedyncze wyniki poza przedziałem zgodności (2 do 12%).



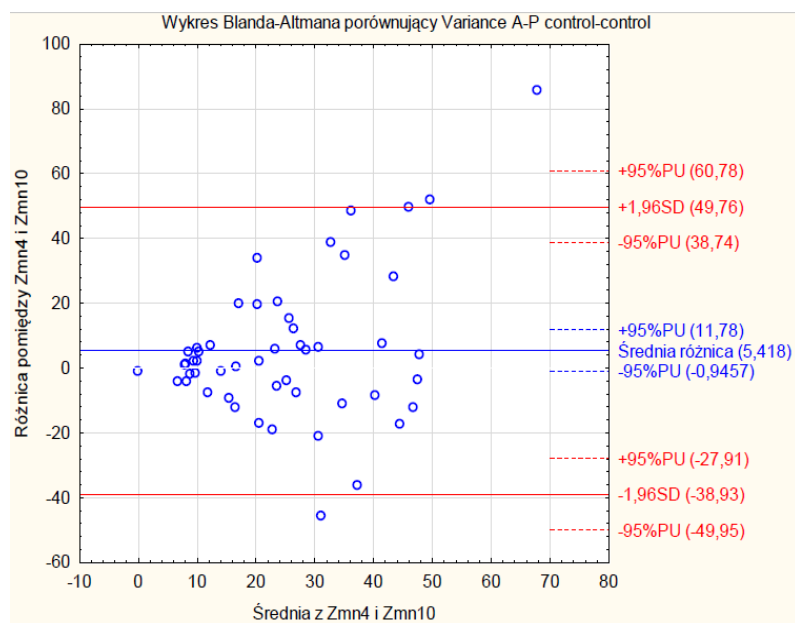
Rycina 28. Zbiorczy wykres Blanda-Altmana dla parametru przebytej drogi dla ponawiananych identycznych testów obunóż na platformie ICS, porównanie standardu vs. standard - TEST 1 ICS (stanie obunóż, oczy otwarte) vs TEST 2 ICS (stanie obunóż, oczy otwarte) oraz TEST 5 ICS (stanie obunóż, oczy zamknięte) vs TEST 6 ICS (stanie obunóż, oczy zamknięte)



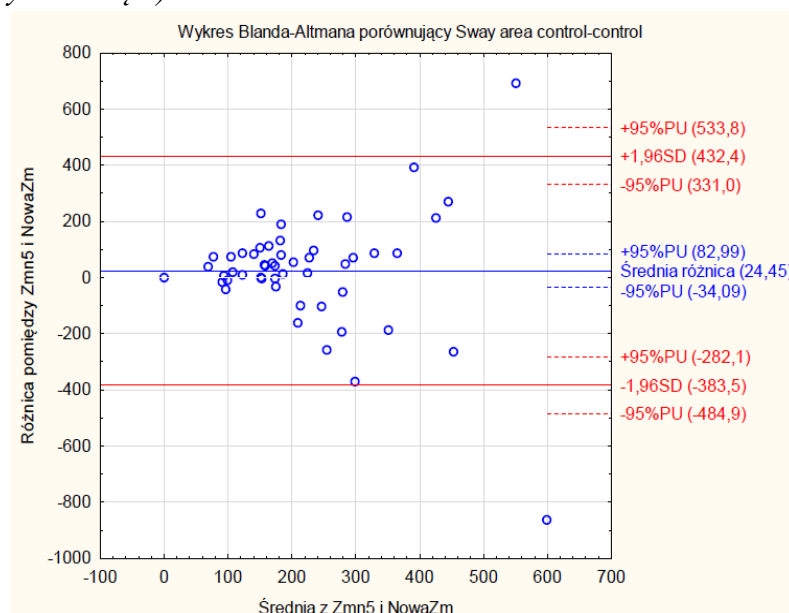
Rycina 29. Zbiorczy wykres Blanda-Altmana dla parametru prędkości dla ponawiananych identycznych testów obunóż na platformie ICS, porównanie standardu vs. standard - TEST 1 ICS (stanie obunóż, oczy otwarte) vs TEST 2 ICS (stanie obunóż, oczy otwarte) oraz TEST 5 ICS (stanie obunóż, oczy zamknięte) vs TEST 6 ICS (stanie obunóż, oczy zamknięte)



Rycina 30. Zbiorczy wykres Blanda-Altmana dla parametru wariancji lewo-prawo dla ponawiananych identycznych testów obunóż na platformie ICS, porównanie standardu vs. standard - TEST 1 ICS (stanie obunóż, oczy otwarte) vs TEST 2 ICS (stanie obunóż, oczy otwarte) oraz TEST 5 ICS (stanie obunóż, oczy zamknięte) vs TEST 6 ICS (stanie obunóż, oczy zamknięte)



Rycina 31. Zbiorczy wykres Blanda-Altmana dla parametru wariancji przód-tył dla ponawiananych identycznych testów obunóż na platformie ICS, porównanie standardu vs. standard - TEST 1 ICS (stanie obunóż, oczy otwarte) vs TEST 2 ICS (stanie obunóż, oczy otwarte) oraz TEST 5 ICS (stanie obunóż, oczy zamknięte) vs TEST 6 ICS (stanie obunóż, oczy zamknięte)

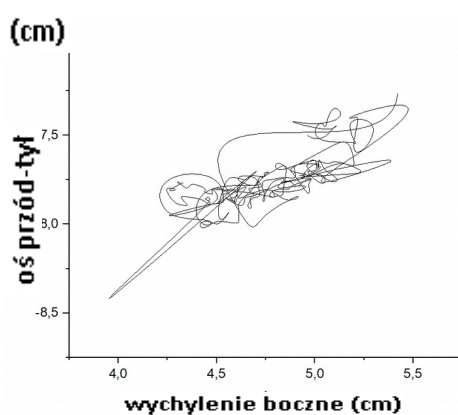


Rycina 32. Zbiorczy wykres Blanda-Altmana dla parametru pola powierzchni dla ponawiananych identycznych testów obunóż na platformie ICS, porównanie standardu vs. standard - TEST 1 ICS (stanie obunóż, oczy otwarte) vs TEST 2 ICS (stanie obunóż, oczy otwarte) oraz TEST 5 ICS (stanie obunóż, oczy zamknięte) vs TEST 6 ICS (stanie obunóż, oczy zamknięte)

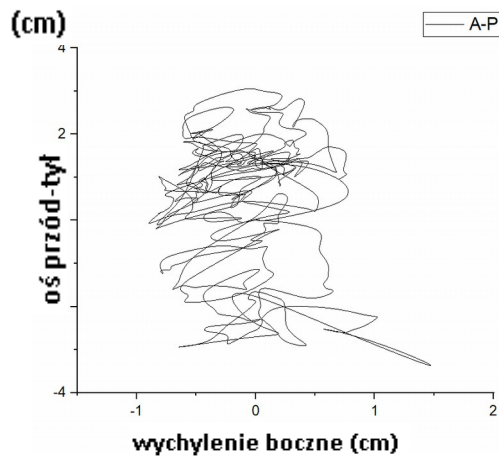
Dodatkowe porównania metodą Blanda-Altmana umieszczono w suplemencie A. Dla wszystkich testów przeanalizowano osobno wszystkie pięć parametrów tj. przebyta drogę, prędkość, wariację boczną i w osi przód tył oraz zakreślone przez badanego pole (Ryciny A1 do A20).

5.2.4 Uzyskane statokinezygramy

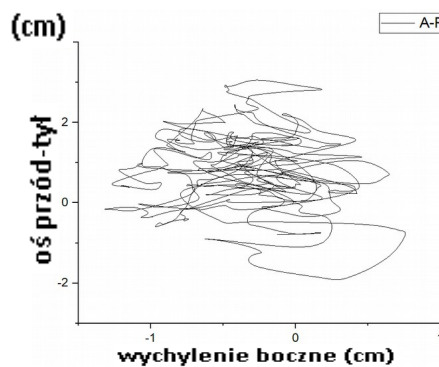
Wyniki z komercyjnych platform posturograficznych są zazwyczaj przedstawiane jako zbiorcze zestawienie tabelaryczne parametrów oraz w formie graficznej jako tzw. stabilogramy - czyli wizualna prezentacja wychYLENIA ŚRODKA CIĘŻKOŚCI w układzie współrzędnych przód-tył oraz lewo-prawo. Poniżej opracowano z użyciem programu Origin Pro 2021 (OriginLab Corporation) stabilogramy dla dwóch pierwszych osób badanych (Ryciny 33 do 48).



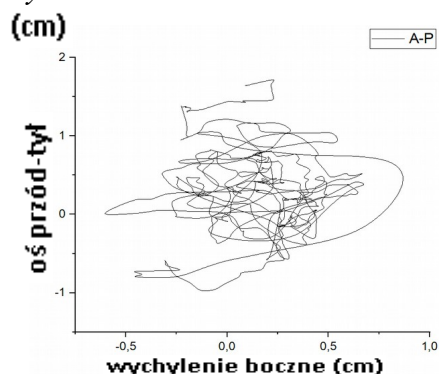
Rycina 33. Statokinezygram uzyskany dla pierwszego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 1 - stanie obunóż na jednej desce Wii Balance Board, oczy otwarte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył.



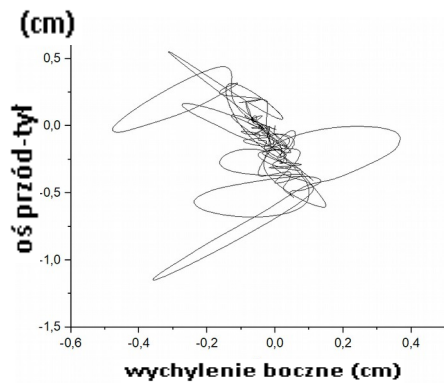
Rycina 34. Statokinezyjogram uzyskany dla pierwszego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 2 - stanie jednonóż na prawej kończynie dolnej na jednej desce Wii Balance Board, oczy otwarte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył.



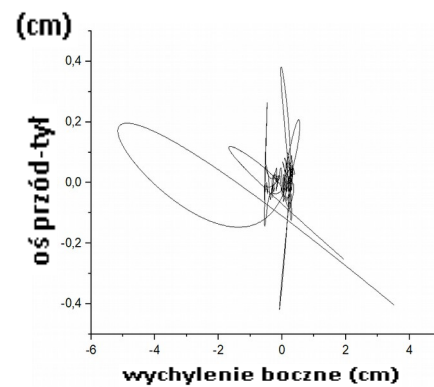
Rycina 35. Statokinezyjogram uzyskany dla pierwszego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 3 - stanie jednonóż na lewej kończynie dolnej na jednej desce Wii Balance Board, oczy otwarte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył.



Rycina 36. Statokinezyjogram uzyskany dla pierwszego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 4 - stanie dwunóż na jednej desce Wii Balance Board, oczy zamknięte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył

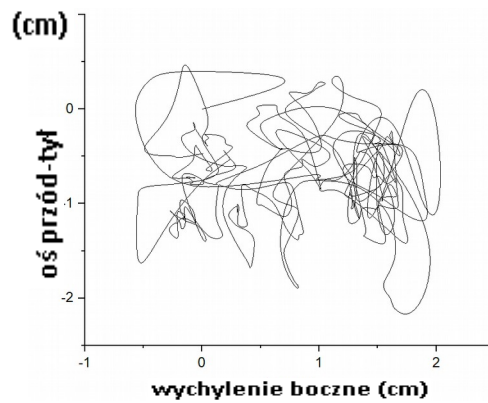


LEWA KOŃCZYNA DOLNA

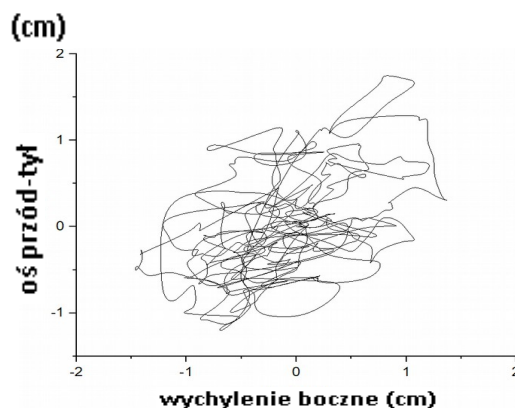


PRAWA KOŃCZYNA DOLNA

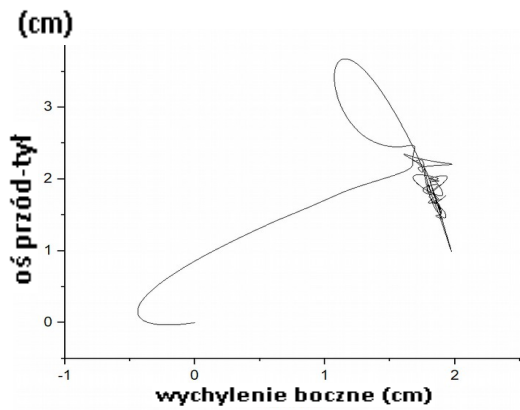
Rycina 37. Statokinezyjogramy (dla każdej kończyny dolnej osobno) uzyskane dla pierwszego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 5 - stanie na dwóch deskach Wii Balance Board, oczy otwarte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył



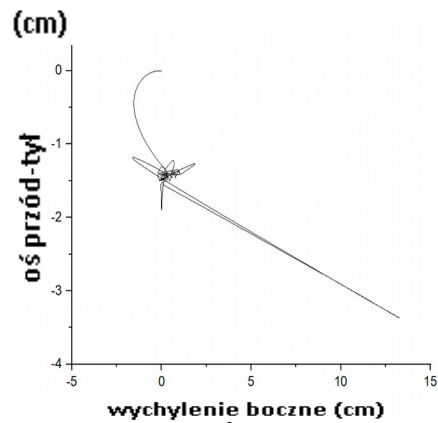
Rycina 38. Statokinezyjogram uzyskany dla pierwszego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 6 - stanie jednonóż na prawej desce Wii Balance Board, oczy otwarte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył



Rycina 39. Statokinezyjogram uzyskany dla pierwszego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 7 - stanie jednonóż na lewej desce Wii Balance Board, oczy otwarte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył

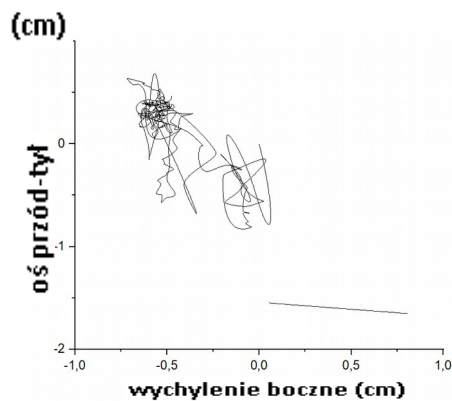


LEWA KOŃCZYNA DOLNA

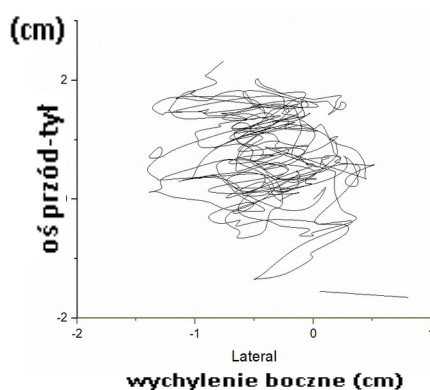


PRAWA KOŃCZYNA DOLNA

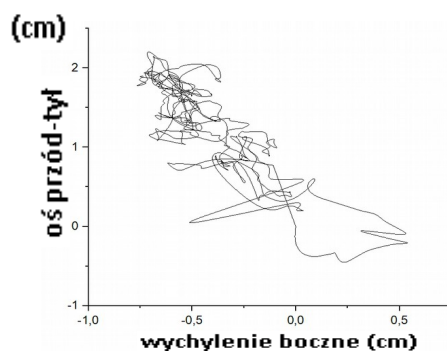
Rycina 40. Statokinezyjogramy (dla każdej kończyny dolnej osobny) uzyskane dla pierwszego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 8 - stanie obunóż, oczy zamknięte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył.



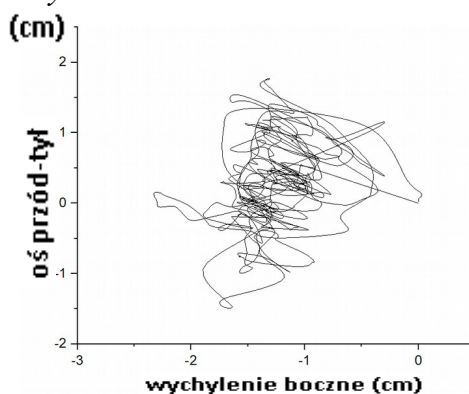
Rycina 41. Statokinezyjogram uzyskany dla drugiego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 1 - stanie obunóż na jednej desce Wii Balance Board, oczy otwarte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył.



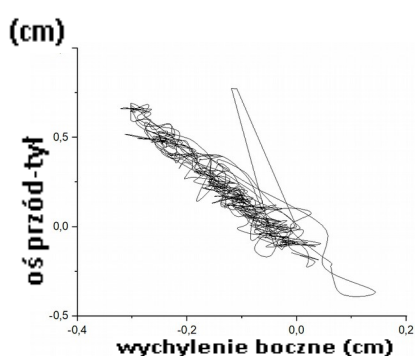
Rycina 42. Statokinezyjogram uzyskany dla drugiego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 2 - stanie jednonóż na prawej kończynie dolnej na jednej desce Wii Balance Board, oczy otwarte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył.



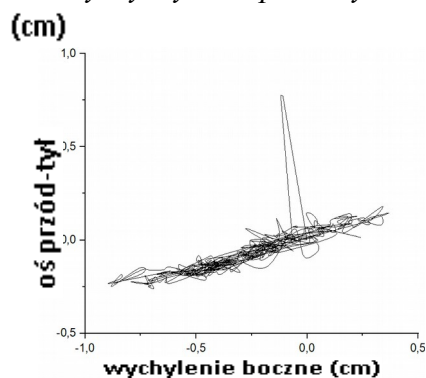
Rycina 43. Statokinezyjogram uzyskany dla drugiego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 3 - stanie jednońóz na lewej kończynie dolnej na jednej desce Wii Balance Board, oczy otwarte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył.



Rycina 44. Statokinezyjogram uzyskany dla drugiego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 4 - stanie dwunóz na jednej desce Wii Balance Board, oczy zamknięte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył

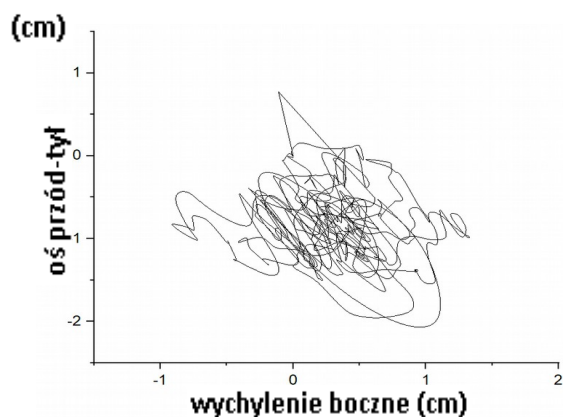


LEWA KOŃCZYNA DOLNA



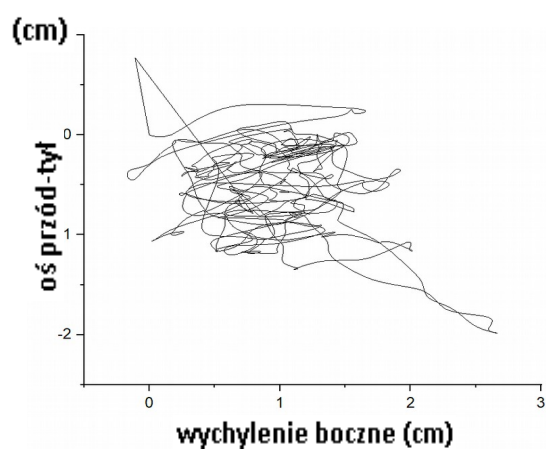
PRAWA KOŃCZYNA DOLNA

Rycina 45. Statokinezyjogramy (dla każdej kończyny dolnej osobny) uzyskane dla drugiego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 5 - stanie na dwóch deskach Wii Balance Board, oczy otwarte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył



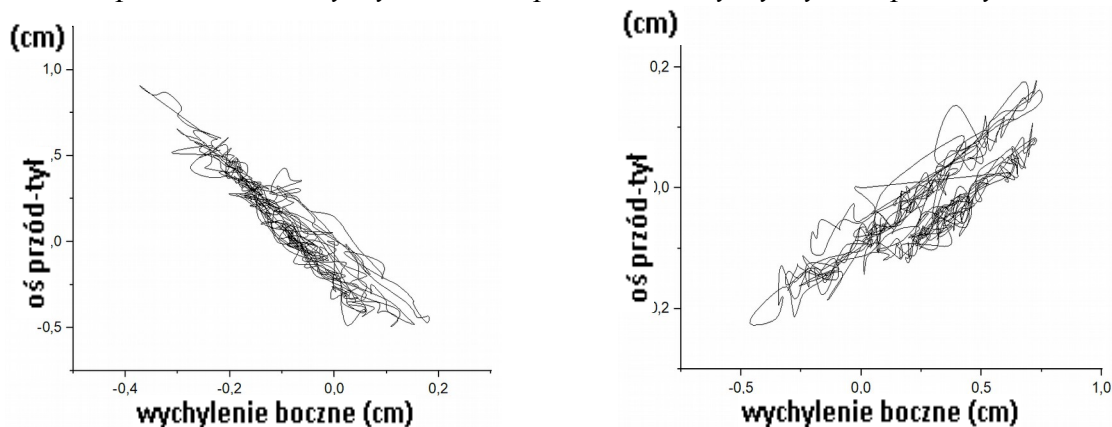
Rycina 46. Statokinezyjogram uzyskany dla drugiego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 6 - stanie jedno-nóż na prawej desce Wii Balance Board, oczy otwarte.

Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył



Rycina 47. Statokinezyjogram uzyskany dla drugiego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 7 - stanie jedno-nóż na lewej desce Wii Balance Board, oczy otwarte.

Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył



LEWA KOŃCZYNA DOLNA

PRAWA KOŃCZYNA DOLNA

Rycina 48. Statokinezyjogramy (dla każdej kończyny dolnej osobny) uzyskane dla drugiego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 8- stanie obunóż, oczy zamknięte.

Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył

5.3 Wyniki grupy badanej

5.3.1 Charakterystyka populacji

Badanie chorych przeprowadzono w latach 2020-2021. Do badania zakwalifikowano 17 chorych (7 kobiet i 10 mężczyzn) spełniających kryteria włączenia i wyłączenia w wieku 21-77 lat (mediana 66 lat), o wzroście 147-183cm (mediana 170cm) i o masie ciała 55-104kg (mediana 80kg). Na powyższej grupie chorych po uzyskaniu świadomej zgody, zebraniu wywiadu i badaniu klinicznym przeprowadzono badania zgodnie z opisanym schematem. Z uwagi na trwający stan pandemii i na znaczne ograniczenie ilości wykonywanych planowych zabiegów oraz przekształcenie części Oddziału Urazowo-Ortopedycznego na Oddział "Covidowy" nie udało się zebrać większej grupy chorych.

W grupie badanej wydzielono dwie podgrupy: 1) chorzy z chorobą zwyrodnieniową stawów biodrowych lub kolanowych oraz 2) chorzy z uszkodzeniem więzadła krzyżowego przedniego.

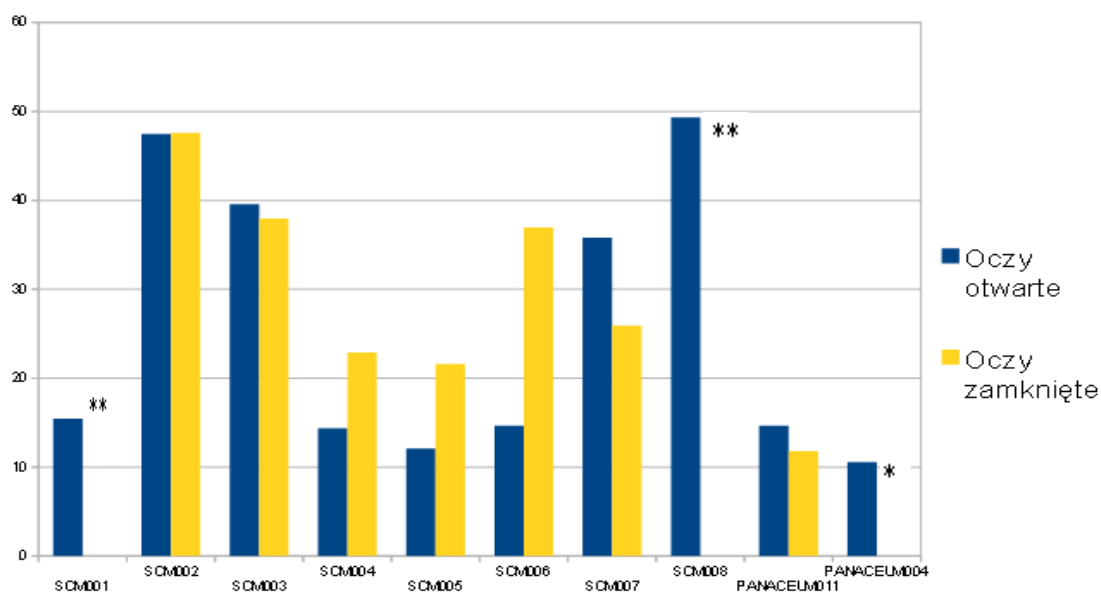
5.3.2 Wyniki posturografii uzyskane z Wii Balance Board

Poniżej przedstawiono wyniki oznaczeń median prędkości w obydwu podgrupach wraz z medianami wieku, masy i wzrostu (Tabela 7.).

Tabela 7. Prędkości w zależności od podgrup

	Podgrupa 1	Podgrupa 2
Liczba pacjentów	n=10	n=7
Mediana prędkości w badaniu obunóż z oczami otwartymi (mm/s)	15,07	17,58
Mediana prędkości w badaniu obunóż z oczami zamkniętymi (mm/s)	25,90	9,56
Mediana wieku pacjentów (lat)	66,50	59,00
Mediana masy pacjentów (kg)	75,50	81,00
Mediana wzrostu pacjentów (cm)	168,5	175,00
Mediana wartości indeksu BMI (Body Mass Index) (kg/m ²)	27,86	25,96

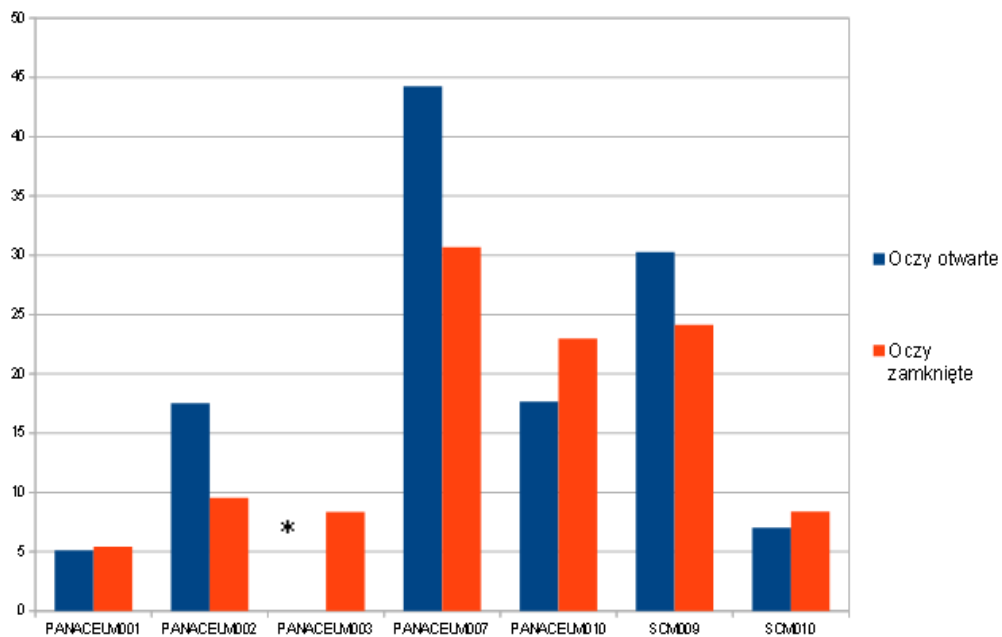
Na rycinie 49 i 50 przedstawiono wyniki prędkości w testach z oczami otwartymi i oczami zamkniętymi odpowiednio dla pacjentów z podgrupy pierwszej i drugiej w pomiarze na jednej platformie Wii Balance Board. W podgrupie pierwszej zidentyfikowano czterech pacjentów, którzy uzyskali prędkości powyżej 30mm/s w teście obunóż oczu otwarte, a w drugiej podgrupie dwóch.



*podczas analizy plików wyjściowych odkryto wysoki poziom zakłóceń wynikający z ograniczeń zasięgu Bluetooth

**m.in. ze względu na zaawansowany wiek i ogólny stan kliniczny pacjentów o identyfikatorach SCM001 (76 lat) oraz SCM008 (77 lat) nie uzyskano pełnych 35 sekundowych pomiarów posturograficznych z oczami zamkniętymi

Rycina 49. Graficzna prezentacja prędkości w mm/s uzyskanych dla poszczególnych pacjentów w Podgrupie 1 (podgrupa pacjentów przed i po zabiegach endoprotezoplastyki).



**podczas analizy plików wyjściowych odkryto wysoki poziom zakłóceń wynikający z ograniczeń zasięgu Bluetooth*

Rycina 50. Graficzna prezentacja prędkości w mm/s uzyskanych dla poszczególnych pacjentów w Podgrupie 2 (podgrupa pacjentów z uszkodzeniem więzadła krzyżowego przedniego lub/i innymi uszkodzeniami w obrębie stawu kolanowego wpływającymi na niestabilność).

Grupa pacjentów o wysokim ryzyku upadku

Wartość kwalifikującą pacjentów do grupy o wysokim stopniu ryzyka określono na poziomie prędkości wychyleń powyżej 30mm/s dla testu obunóż przy oczach otwartych. Pacjenci zakwalifikowani do grupy ryzyka powinni wykonywać rehabilitację zgodnie z zaleconym protokołem opisanym w podrozdziale 4.5. Przedstawiono ich w tabeli poniżej (Tabela 8).

Tabela 8. Schorzenia i wiek pacjentów z możliwym ryzykiem upadku zakwalifikowanych do ćwiczeń

Identyfikator pacjenta	Prędkość w teście obunóż oczy otwarte (mm/s)	Wiek (lat)	Schorzenie i problem kliniczny
<i>SCM002</i>	47,46	76	Pacjentka z chorobą zwyrodnieniową stawu biodrowego lewego przed zabiegiem endoprotezoplastyki tego stawu, ponadto przebyła endoprotezoplastykę prawego stawu biodrowego przed sześcioma laty. Aktualnie skrócenie prawej kończyny dolnej o 0,5cm. Wiek pacjentki i obraz kliniczny korelują z otrzymanymi wartościami prędkości.
<i>SCM003</i>	39,56	67	Pacjentka 67-letnia z chorobą zwyrodnieniową stawu kolanowego lewego i po endoprotezoplastyce stawu kolanowego prawego. Wiek pacjentki i obraz kliniczny korelują z podwyższonymi wartościami prędkości.
<i>SCM007</i>	35,79	68	68-letnia chora z chorobą zwyrodnieniową stawu biodrowego lewego, dodatkowo wymaga stałego zaopatrzenia ortopedycznego z powodu przewlekłego owrzodzenie podudzia prawego. Wiek pacjentki i obraz kliniczny korelują z podwyższonymi wartościami prędkości.
<i>SCM008</i>	49,33	76	Pacjentka 76-letnia przed zabiegiem endoprotezoplastyki stawu biodrowego prawego z powodu jego zmian zwyrodnieniowych, ponadto przed trzema laty przebyła zabieg protezoplastyki stawu biodrowego prawego. Aktualnie skrócenie prawej kończyny dolnej o 1cm. Wiek pacjentki i obraz kliniczny korelują z podwyższonymi wartościami prędkości.
<i>PANACEUM 007</i>	44,25	70	Pacjent 70-letni z przebyłym urazem prawego kolana. Wiek pacjenta koreluje z podwyższoną wartością prędkości.
<i>SCM009</i>	30,28	65	Pacjent z uszkodzeniem wewnątrz stawu kolanowego prawego.

5.3.3 Ocena wyników rehabilitacji

Z uwagi na trwający stan pandemii SARS-CoV-2 ocena rehabilitacji dokonana została telefonicznie w celu ograniczenia kontaktu i transmisji wirusa (grupa badanych składała się głównie z osób starszych). W okresie pierwszych 3 miesięcy od badania posturograficznego nie zareportowano żadnego incydentu upadku zarówno w grupie o prędkości powyżej 30mm/s (grupa podwyższonego ryzyka upadku) jak i również poniżej 30 mm/s w teście stania obunóż z oczami otwartymi. Pacjenci kontynuowali przez ten czas rehabilitację i zalecone po zabiegach operacyjnych ćwiczenia.

5.3.4 Wybrane przypadki kliniczne

Poniżej zaprezentowano skrócone opisy zbadanych przypadków klinicznych dla najpopularniejszych jednostek nozologicznych w ortopedii.

Uszkodzenie więzadła krzyżowego przedniego stawu kolanowego prawego.

Chory lat 38 po dwukrotnym uszkodzeniu więzadła krzyżowego w latach 2019, a następnie 2020. Aktualnie uszkodzenie trzeciego stopnia, badanie przed zabiegiem. Chory uzyskał wynik prędkości 17,65 mm/s podczas badania z oczami otwartymi oraz 22,98 mm/s podczas badania z oczami zamkniętymi. Zwraca uwagę duża różnica prędkości podczas pomiarów dla indywidualnych kończyn podczas stania jednonóż. Dla chorej kończyny po stronie prawej wynosiła ona 34,63 mm/s, podczas gdy dla zdrowej po stronie lewej 18,52 mm/s. Nie zaobserwowano różnicy pomiędzy obciążaniem obydwu kończyn dolnych.

Choroba zwyrodnieniowa stawu kolanowego prawego

Chory lat 66 zakwalifikowany do zabiegu endoprotezoplastyki stawu kolanowego został zbadany w przededniu zabiegu. Chory uzyskał wynik prędkości 12,08 mm/s podczas badania z oczami otwartymi oraz 21,63 mm/s podczas badania z oczami zamkniętymi. Zwraca uwagę duża różnica prędkości podczas pomiarów dla indywidualnych kończyn podczas stania jednonóż. Dla chorej kończyny po stronie prawej wynosiła ona 45,26 mm/s, podczas gdy dla zdrowej po stronie lewej 38,66 mm/s.

Choroba zwyrodnieniowa stawu biodrowego prawego

Chory lat 63 zakwalifikowany do zabiegu endoprotezoplastyki stawu biodrowego został zbadany w przededniu zabiegu. Chory uzyskał wynik prędkości 14,37 mm/s podczas badania z oczami otwartymi oraz 22,90 mm/s podczas badania z oczami zamkniętymi. Dla chorej kończyny w teście jednonóż po stronie prawej wynosiła ona 61,38 mm/s, podczas gdy dla zdrowej po stronie lewej 52,69 mm/s. Pacjent obciążał stronę zdrową (obciążenie dla strony lewej 48,82 kg, a dla prawej 40,17kg) – różnica w obciążeniach pomiędzy kończynami wynosiła 8,65kg.

5.4 Wyniki zebrane w oparciu o badanie dwuplatformowe Wii Balance Board

5.4.1 Rozkład obciążeń

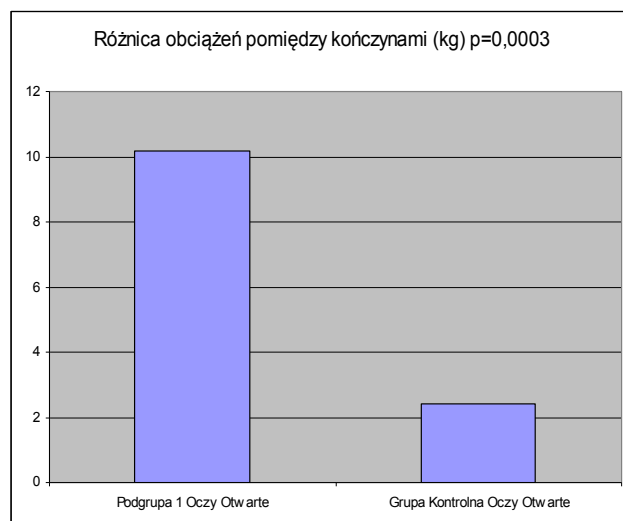
Podczas badania chorych dzień przed zabiegiem endoprotezoplastyki dzięki zastosowaniu dwóch platform posturograficznych Wii Balance Board uzyskano rozkład obciążenia dla poszczególnych kończyn, który zaprezentowano w tabeli poniżej (Tabela 9).

Tabela 9. Przedoperacyjny pomiar obciążeń dla poszczególnych kończyn dolnych pacjentów wymagających endoprotezoplastyki z użyciem dwóch platform Wii Balance Board

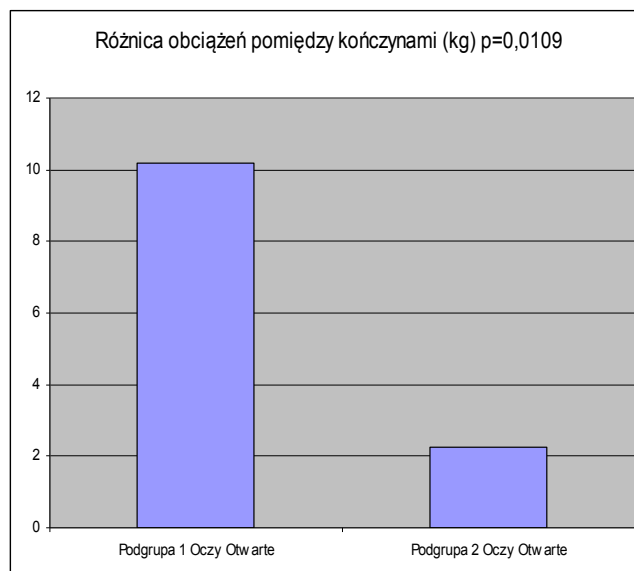
Identyfikator pacjenta	Rodzaj protezy	Strona operowana	Średnie obciążenie dla lewej kończyny dolnej (kg)	Średnie obciążenie dla prawej kończyny dolnej (kg)	Różnica (kg)	Rozkład obciążenia
SCM001	Kolano	Prawa	58,03	41,56	16,47	Obciąża zdrową
SCM002	Biodro	Lewa	28,74	31,71	2,97	Obciąża zdrową
SCM003	Kolano	Lewa	37,92	41,18	3,25	Obciąża zdrową
SCM004	Biodro	Prawa	48,82	40,17	8,65	Obciąża zdrową
SCM005	Kolano	Prawa	33,90	42,51	8,62	Obciąża chorą
SCM006	Biodro	Prawa	52,33	46,09	6,23	Obciąża zdrową
SCM007	Biodro	Lewa	53,43	21,61	31,82	Obciąża chorą
SCM008	Biodro	Prawa	37,75	40,78	3,03	Obciąża chorą

Zaobserwowano powtarzalne odciążanie chorej kończyny u pacjentów z chorobą zwyrodnieniową u większości pacjentów. Tylko trzech pacjentów obciążało bardziej stronę chorą - u pacjenta SCM008 było to spowodowane prawdopodobnie około 1cm skróceniem prawej kończyny dolnej, pacjent SCM007 cierpiał od 40 lat na chroniczne owrzodzenie podudzia i od 7 lat poruszał się o kulach odciążając kończynę z owrzodzeniem co spowodowało wtórne zmiany zwyrodnieniowe biodra lewego. Nie udało się wyjaśnić powodu obciążania chorej kończyny u pacjenta SCM005.

Na Rycinach 51 i 52 przedstawiono różnicę obciążania kończyn dolnych pomiędzy podgrupą pacjentów wymagających endoprotezoplastyki uzyskaną dzięki zastosowaniu posturografii dwuplatformowej Wii Balance Board. Stwierdzono istotne statystycznie różnice w obciążaniu kończyn pomiędzy: grupą kontrolną a grupą badaną ($p=0,0074$), pomiędzy podgrupą 1 a grupą kontrolną ($p=0,0003$) oraz pomiędzy podgrupą 1 a podgrupą 2 ($p=0,0109$). Nie stwierdzono natomiast istotnej statystycznie różnicy obciążeń pomiędzy podgrupą 2 a grupą kontrolną.



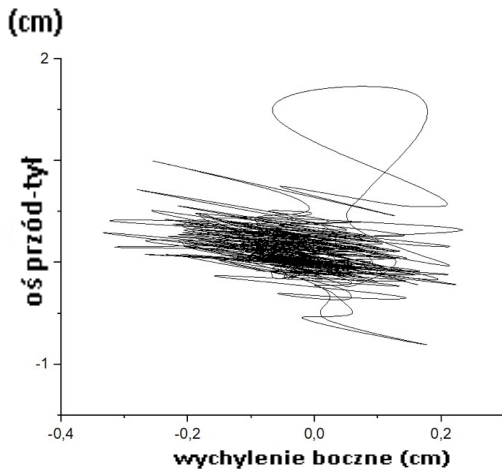
Rycina 51. Porównanie różnic obciążania kończyn dolnych pomiędzy podgrupą 1, a grupą kontrolną.



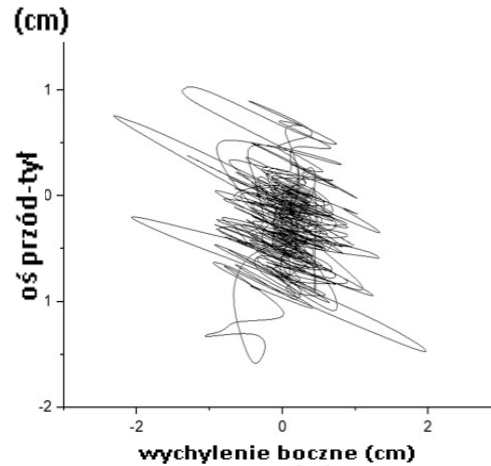
Rycina 52. Porównanie różnic obciążania kończyn dolnych pomiędzy podgrupą 1, a podgrupą 2

5.4.1 Wybrany przypadek kliniczny wychyleń poszczególnych kończyn podczas stania obunóż

Do grupy badanej zakwalifikowano pacjentkę lat 67 z chorobą zwyrodnieniową stawu kolanowego lewego. Pacjentka ta była już po przebytych zabiegach endoprotezoplastyki stawu kolanowego prawego. W badaniu dwuplatformowym obunóż zarówno z oczami otwartymi (Test 5) jak i również z oczami zamkniętymi (Test 8) uzyskano większe prędkości dla prawej kończyny dolnej, która była już po przebytych zabiegach endoprotezoplastyki. W teście dwuplatformowym obunóż z oczami otwartymi uzyskano prędkość 61,20 mm/s dla prawej kończyny dolnej i prędkość 17,91 mm/s dla lewej kończyny dolnej. W teście dwuplatformowym obunóż z oczami zamkniętymi była uzyskana prędkość 43,88 mm/s dla prawej kończyny dolnej i 17,18 mm/s dla lewej kończyny dolnej. Poniżej przedstawiono stabilogramy dla obydwu testów z uwzględnieniem obydwu kończyn. W statokinezyjogramie przy oczach otwartych dla prawej kończyny dolnej jest większy zakres wychyleń w osi lewo-prawo (od -2cm do 2cm po prawej versus -0,3cm do 0,2cm po lewej) (Rycina 53). W statokinezyjogramie przy oczach zamkniętych dla prawej kończyny dolnej jest większy zakres wychyleń w osi lewo-prawo (od 0 do 0,75cm po prawej versus -1cm do 1,5cm po lewej) (Rycina 54). Rozkład obciążeń wynosił średnio 41,18kg dla prawej kończyny dolnej i 37,93kg dla lewej kończyny dolnej - pacjentka obciążała kończynę nieplanowaną aktualnie do zabiegu.

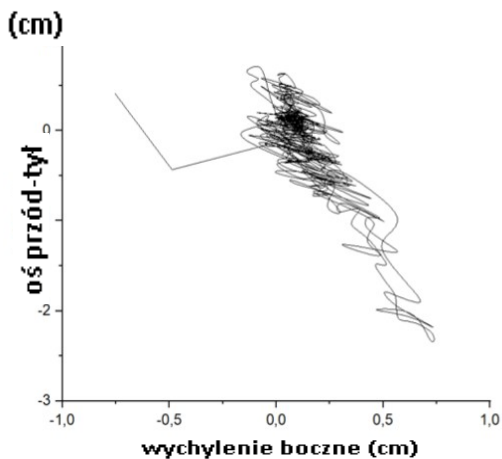


LEWA KOŃCZYNA DOLNA

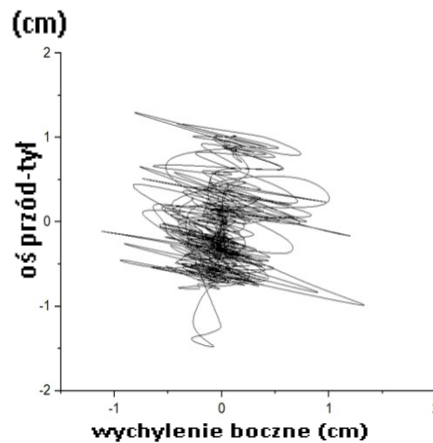


PRAWA KOŃCZYNA DOLNA

Rycina 53. Statokinezyogramy dla każdej kończyny dolnej, uzyskane dla 67-letniej chorej w grupie badanej podczas Testu 5 - stanie na dwóch deskach Wii Balance Board, oczy otwarte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył.



LEWA KOŃCZYNA DOLNA



PRAWA KOŃCZYNA DOLNA

Rycina 54. Statokinezyogramy (dla każdej kończyny dolnej osobno) uzyskane dla 67-letniej chorej w grupie badanej podczas Testu 8 - stanie na dwóch deskach Wii Balance Board, oczy zamknięte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył

VI. DYSKUSJA

Na podstawie przeprowadzonego badania wykazano, że system posturograficzny oparty o Wii Balance Board i aplikację Profesora Rossa Clarka spełnia wymagania dla diagnostyki pacjentów ortopedycznych. Dzięki swojej przystępności cenowej systemy posturograficzne oparte o Wii Balance Board mają szansę być wprowadzone na stałe do ośrodków nie dysponujących dużym budżetem na sprzęt diagnostyczny. Koszt zakupu urządzenia Wii Balance Board to obecnie ok. 100zł w serwisach aukcyjnych, a profesjonalne systemy posturograficzne kosztują kilka, a nawet kilkanaście tysięcy złotych.

Popularyzacja posturografii opartej o Wii Balance Board wnosi istotny wkład w rozwój ortopedii ze względu na uczynienie posturografii łatwo dostępną metodą dla ośrodków, które nie miały dotychczas dostępu do takich badań. W przeciwieństwie do dziedzin neurologii i otolaryngologii posturografia nie jest jeszcze powszechnie stosowana w ortopedii. Niski koszt Wii Balance Board pozwala na wdrożenie i wykonywanie badań z porównywalną dokładnością jak badania oparte na profesjonalnych systemach.

Systemy oparte o dwie platformy pozwalają dodatkowo na nowatorski pomiar różnic w obciążaniu poszczególnych kończyn wraz z analizą ich wychyleń. Jest to szczególnie ważne w grupie pacjentów ze schorzeniami w obrębie kończyn dolnych. Obiektywny pomiar różnic w obciążeniu pozwala ustalić czy pacjent wrócił już do pełnej funkcjonalności po przeprowadzonym zabiegu. Ponadto w ogólnej diagnostyce i ocenie przedoperacyjnej niezależne pomiary dla poszczególnych kończyn mogą pomóc w ustaleniu diagnozy.

Walidacja urządzenia i badanie referencyjne

W wykonanej walidacji w bezpośrednim zestawieniu uśrednionych pomiarów ze standardowej platformy posturograficznej (ICS) z badaniem na jednej desce Wii Balance Board uzyskano bardzo dobre wyniki jeżeli chodzi o porównanie parametrów przebytej drogi i prędkości zarówno w porównaniach testem U-Manna-Whitney'a jak również porównując metodą Blanda-Altmana. Rozpatrując wyniki pomiarów pod kątem ilości pacjentów, którzy znaleźli się poza przedziałem zgodności jest ona nie większa niż 2, co stanowi 8% pacjentów w badanej grupie (Tabela 10.) W literaturze jako najlepszy predyktor kliniczny ryzyka upadków przyjmuje się prędkość wychyleń [29,85], co dodatkowo przemawia za dobrą walidacją urządzenia do przydatności klinicznej.

Tabela 10. Zestawienie wyników testów Blanda-Altmana dla weryfikacji pomiędzy standardem a jedną deską Wii Balance Board

Numer testu i parametr	Średnia różnica pomiędzy indywidualnymi wynikami	Ilość wyników poniżej -1,96 SD i powyżej +1,96 SD
Test 1 (obunóż, oczy otwarte)		
Przebyta droga (mm)	-21,02	2
Prędkość (mm/s)	-0,3043	2
Wariancja boczna (mm)	-12,07	2
Wariancja przód-tył (mm)	-5,277	2
Test 2 (lewa kończyna, oczy otwarte)		
Przebyta droga (mm)	19,62	1
Prędkość (mm/s)	0,703	1
Wariancja boczna (mm)	0,4310	1
Wariancja przód-tył (mm)	14,71	2
Test 3 (lewa kończyna, oczy otwarte)		
Przebyta droga (mm)	-21.02	2
Prędkość (mm/s)	-0.3043	2
Wariancja boczna (mm)	-2.746	2
Wariancja przód-tył (mm)	0,4962	2
Test 4 (obunóż, oczy zamknięte)		
Przebyta droga (mm)	2,443	1
Prędkość (mm/s)	-0,2909	2
Wariancja boczna(mm)	-2,746	2
Wariancja przód-tył(mm)	0,4962	2

Wii Balance Board był pozytywnie zwalidowany przez wiele zespołów w różnych zastosowaniach. Część z nich prowadziła analizę sygnałów z Wii Board poprzez postawienie tych platform na innych posturografach [86,87,88,89,90,91,92,93]. Inni autorzy prowadzili sekwencyjne pomiary najpierw na standardowych platformach, a następnie na Wii Balance Board [31,32,44,85,94,95,96,97,35,98]. Co interesujące profesor Clark w swoim przeglądzie systematycznym zwrócił również uwagę, na to, że w aplikacjach napisanych na system operacyjny iOS firmy Apple uzyskano gorsze wyniki walidacji niż na systemach operacyjnych z rodziny Windows. Są to jednak tylko trzy badania: Chang i wsp. [96], Rey-Martinez i Fernandez [35], Chiarovano i wsp. [99] - jest to za mała ilość badań z wykorzystaniem tego systemu aby wyciągnąć ostateczne wnioski.

Na dokładność pomiarów Wii Balance Board wpływa wiele czynników. Jednym z najważniejszych mankamentów przy pomiarach jest obecność szumów i zakłóceń sygnału. Mogą one zostać cyfrowo odcięte, jednak w trosce o dokładność badań należy dążyć do ich wyeliminowania. Z doświadczeń własnych autora wynikało, że na dokładność pomiarów wpływała przede wszystkim jakość zasilania mostka tensometrycznego (szczególnie podczas pomiarów cięższych pacjentów). Ponadto w przypadku zbierania danych z dwóch desek jednocześnie z wysoką rozdzielczością istotne jest oddalenie desek od odbiornika sygnału Bluetooth (im mniejsze tym stabilniejsze połączenie i bardziej optymalny przesył danych). Na problem dużej ilości szumów i potrzebę odpowiedniej analizy zebranych danych zwracali również uwagę Julien Audiffren i Emile Contal z Francji [100]. Zwrócili oni również uwagę na problem braku ekranowania przewodów pomiarowych wewnątrz Wii Balance Board.

Ponadto z uwagi na łatwą dostępność używanych platform Wii Balance Board Bartlett i wsp. przeanalizowali jakość pomiarów z wykorzystaniem platform z drugiego obiegu [101]. Nie zaobserwowali oni znaczących różnic pomiędzy nowymi, a używanymi platformami. Stwierdzili oni jednak, że niepewność pomiaru siły na Wii Balance Board może wynosić 9,1 N (versus 1,1N na platformie laboratoryjnej AMTI). Jeżeli chodzi o wyliczanie środka ciężkości (COP) dla platform Wii Balance Board to w swoim badaniu określili go na poziomie +/- 4,1 , 3,5 mm (versus +/- 3,5 , 4,7 mm dla platformy laboratoryjnej AMTI).

Yamamoto i Matsuzawa [102] również walidowali Wii Balance Board w porównaniu z platformą AMTI. Badali oni Wii Balance Board zarówno w obciążeniach statycznych jak i w dynamicznych. Przy obciążeniu statycznym rzędu 1800N stwierdzili oni błąd na poziomie 2% .

Zastosowanie takich badań w powszechnej praktyce medycznej jest skomplikowane i napotyka na wiele trudności technicznych. Z uwagi na podatność pomiarów Wii Balance Board na zakłócenia konieczna jest częsta analiza danych oraz częste monitorowanie jakości zasilania. Kolejną trudnością jest konfiguracja oprogramowania oraz sprzętu. Rozwiązania opracowywane na Wii Balance Board to

zazwyczaj projekty akademickie i uniwersyteckie wymagające doświadczenia w analizie surowych danych. Przy natłoku obowiązków klinicysty w ramach Ambulatoryjnej Opieki Specjalistycznej lub przy dużej ilości pacjentów danego dnia nie sposób zbierać dane od pacjentów.

Większe średnie prędkości od normy populacyjnej.

Obliczając średnie pomiarów prędkości dla grupy stojącej obunóż z oczami otwartymi dla ICS Balance Board uzyskano średni wynik 11,32 mm/s. Dla testu obunóż dla oczu zamkniętych na platformie ICS Balance Board uzyskano średni wynik 13,73 mm/s. Są to wartości wyższe niż założona norma przez producenta - tabela poniżej (Tabela 11.).

	Velocity [mm/s]		Ellipsis [mm ²]		Variance lat. [mm ²]		Variance a-p [mm ²]		Sway area [mm ²]	
	Mean	St. dev.	Mean	St. dev.	Mean	St. dev.	Mean	St. dev.	Mean	St. dev.
Eyes open	7.02	2.53	21.92	13.75	6.38	5.68	9.56	6.12	104.22	54.53
Eyes closed	13.40	5.63	54.99	37.85	11.46	9.23	31.71	21.58	256.65	158.98
Cushion, eyes open	12.72	6.37	51.10	38.15	16.77	14.49	20.02	16.94	179.92	136.66
Cushion, eyes closed	34.22	11.78	247.70	126.25	69.71	43.57	113.22	68.86	834.38	679.15

Tabela 11. Normy parametrów równowagi zaproponowane przez producenta ICS Balance Board, badanie na grupie 141 pacjentów otolaryngologicznych (źródło: ICS Balance Platform User Manual [83]).

Może to pośrednio wynikać w wydłużenia standardowego testu z 30 sekund do 35 sekund. Być może należało również dokonywać każdego pomiaru trzykrotnie jak w badaniu Riis i wsp. [29]. Zespół tamten uzyskał normy populacyjne zgodne z rozkładem jak w tabelach poniżej (Tabela 12. oraz Tabela 13.).

Supplementary Appendix

Supplementary table 1. Percentile intervals and median of postural balance for women during hip-wide stance.

Age group (years)	Above 90 th percentile	90 th -75 th percentile	75 th -25 th percentile	25 th -10 th percentile	Below 10 th percentile	Median
COP speed (mm/s)						
20-29	>14	14-13	13-11	11-9	<9	12
30-39	>13	13-12	12-9	9-8	<8	10
40-49	>13	13-12	12-10	10-9	<9	11
50-59	>14	14-12	12-10	10-9	<9	11
60-69	>19	19-15	15-11	11-10	<10	12
70-79	>21	21-18	18-13	13-11	<11	16
80+	>28	28-23	23-16	16-14	<14	19

Tabela 12. Normy parametrów równowagi dla kobiet dla Wii Balance Board zaproponowane przez Riis i wsp. (źródło: Riis i wsp. [29]).

Supplementary table 2. Percentile intervals and median of postural balance for men during hip-wide stance.

Age group (years)	Above 90 th percentile	90 th -75 th percentile	75 th -25 th percentile	25 th -10 th percentile	Below 10 th percentile	Median
COP speed (mm/s)						
20-29	>14	14-11	11-9	9-8	<8	10
30-39	>12	12-11	11-8	8	<8	10
40-49	>14	14-12	12-9	9-7	<7	9
50-59	>16	16-13	13-10	10	<10	11
60-69	>23	23-16	16-12	12-10	<10	14
70-79	>25	25-20	20-13	13-11	<11	15
80+	>28	26-25	25-18	18-15	<15	22

Tabela 13. Normy parametrów równowagi dla kobiet dla Wii Balance Board zaproponowane przez Riis i wsp. (źródło: Riis i wsp. [29]).

Dla testów na pojedynczej platformie Wii Balance Board uzyskano wyniki 11,72 mm/s dla testu obunóż z oczami otwartymi przy średniej wieku 39,2 lat. Z uwagi na różnorodność otrzymywanych danych dla tego samego pacjenta podczas tych samych pomiarów w praktyce klinicznej należałoby zwieliokrotnić ilość pomiarów do conajmniej trzech dla każdego testu.

Zastosowanie kliniczne pomiarów na dwóch platformach

Szczególnie interesujące może być zastosowanie kliniczne pomiarów z wykorzystaniem dwóch platform. W okresie przedoperacyjnym pozwala ono na oszacowanie stopnia w jakim pacjent odciąża daną kończynę ze względu na dolegliwości bólowe. Ponadto w okresie pooperacyjnym pozwala na analizę, czy pacjent początkowo częściowo odciąża, a w dalszych etapach rehabilitacji całkowicie obciąża operowaną kończynę[103].

Ponadto u pacjentów, którzy przebyli zabiegi operacyjne i skarżą się na niestabilność jednej z kończyn jest możliwe obiektywne ilościowe porównanie wychyleń dla każdej z kończyn osobno podczas stania obunóż.

W pracy wykazano przydatność kliniczną dodatkowych parametrów uzyskiwanych dzięki pomiarom opartym na dwóch deskach.

Posturografia u pacjentów operowanych, screening rehabilitacyjny ryzyka upadku

Rutynowe prognozowanie ryzyka upadku jest istotne w rehabilitacji pacjentów po zabiegach endoprotezoplastyki stawu biodrowego i kolanowego. Najczęściej są to osoby starsze cierpiące na choroby zwyrodnieniowe wyżej wymienionych stawów. Sam zabieg operacyjny jest dużym stresem dla organizmu, który może powodować osłabienie i utratę krwi. Wczesne wychwycenie grupy tych pacjentów pozwala na wdrożenie szczególnego nadzoru nad tą grupą. Podobnie jest z pacjentami operowanymi z powodu uszkodzeń więzadłowych i/lub w innych uszkodzeniach w obrębie stawu kolanowego. Poza ryzykiem samego upadku istnieje u tych pacjentów również ryzyko zerwania przeszczepu.

Ikutomo i wsp. [104] w swoim badaniu na grupie 286 kobiet po zabiegu endoprotezoplastyki stawu biodrowego stwierdzili, że 31,5% z nich upada przynajmniej raz w ciągu pierwszego roku od zabiegu. Lo i wsp. [105] w przeglądzie systematycznym i metaanalizie 12 prac, w których łącznie uwzględniono ponad 1,2 miliona pacjentów podają wartości 25-36% ryzyka dla upadków po endoprotezoplastyce stawu biodrowego i 6,2-42,6% ryzyka dla upadków po zabiegu endoprotezoplastyki stawu kolanowego w pierwszym roku po zabiegu. Swinkles i wsp. [106] podaje wartość 24,2% ryzyka upadku w pierwszym roku po zabiegu dla pacjentów po endoprotezoplastyce stawu kolanowego, którzy nie mieli dotychczas

upadków. Zespół ten podaje również 45,8% ryzyko upadku w pierwszym roku po zabiegu dla pacjentów po endoprotezoplastyce stawu kolanowego, którzy mieli epizody upadku już przed badaniem.

W pracy określono krytyczny poziom prędkości na 30 mm/s. Koreluje to z obrazem klinicznym pacjentów, którzy znaleźli się w tej grupie. Można ten poziom również odnieść do poziomu 28 mm/s dla pacjentów powyżej 80 roku życia w pracy Riisa i wsp., który był uznawany za 90 percentyl dla normy populacyjnej. Należy jednak podkreślić, że pacjenci ze schorzeniami ortopedycznymi kończyn dolnych mają odchylenia w badaniach posturograficznych stąd też zdecydowano o podniesieniu tego poziomu. Dla dokładnego określenia tego poziomu potrzebne jest jednak badanie na większej grupie chorych i z metodologią potrójnych pomiarów.

W przeprowadzonym badaniu nie zaraportowano upadków w grupie pacjentów zakwalifikowanych do grupy ryzyka i wymagających specjalnej, łagodniejszej rehabilitacji. Niestety ze względu na trwający stan pandemii nie były możliwe ponowne pomiary w tej grupie. Pacjenci po zakończeniu leczenia operacyjnego i kontroli w poradni mieli kontynuowaną rehabilitację domową. Przyjazd pracownika systemu ochrony zdrowia do ich domów celem wykonania pomiarów naraziłby ich na możliwość infekcji.

Dalsza ewolucja systemów posturograficznych

Posturografia oparta na niskobudżetowych platformach (najczęściej oparta na Wii Balance Board) ulega ciągłemu rozwojowi. Powstają normy populacyjne w oparciu o badania na większych grupach. Ośrodki uniwersyteckie i firmy komercyjne opracowują również swoje własne oprogramowanie. Jak widać we wcześniej przytoczonej pracy Goble i wsp. [19] przyrost ilości publikacji jest znaczny, jednak wciąż jest to dość nowatorska dziedzina i ilość dostępnej literatury jest ograniczona. W związku z coraz bardziej ograniczoną dostępnością do Wii Balance Board należy również spodziewać się rozwoju innych alternatywnych mobilnych systemów posturograficznych.

Przyszłościowymi rozwiązaniami może być opracowanie małych mobilnych platform posturograficznych z wbudowanymi mikrokomputerami [107], które mogłyby być wypożyczane pacjentom do domu i w których byłby wykonywany stały zapis postępów rehabilitacji w oparciu o posturoografię. Pacjenci wykonywaliby dodatkowo ćwiczenia z biofeedbackiem z użyciem takich platform. Możliwość prowadzenia zdalnych pomiarów posturograficznych przez pacjentów oraz samodzielne wykonywanie ćwiczeń rehabilitacyjnych opartych o posturoografię może być szczególnie przydatne w sytuacji trwającej pandemii.

VII. WNIOSKI

Wnioski:

1. Wii Balance Board stanowi tanią alternatywę dla profesjonalnych systemów posturograficznych dając porównywalne wyniki pomiarów.
2. Badania posturograficzne uzupełnione o pomiary na dwóch platformach pozwalają na łatwą i szybką ocenę różnic w obciążaniu kończyn oraz na indywidualny pomiar prędkości wychyleń dla każdej z kończyn.
3. Pacjenci z chorobą zwyrodnieniową stawów biodrowych i kolanowych z reguły odciążają chorą kończynę. Niezależnie od rodzaju schorzenia wysokie wartości prędkości obserwuje się głównie u pacjentów po 65 roku życia.
4. Zastosowanie rehabilitacji ukierunkowanej na ćwiczenia proprioceptywne u pacjentów, u których stwierdzono w teście stania obunóż, oczy otwarte prędkości wychyleń powyżej 30mm/s pozwala zminimalizować ryzyko upadku.

Summary

In the following work a two board posturography system developed by Ross Clark et al. was compared with a classical force platform. Data acquired from this specific software was compared with data from standard posturographic platform (Otometrics ICS Balance Platform). The control group included 25 volunteers between 26 and 65 years of age. Path length, velocity, sway area, anterior-posterior and lateral variance were measured. Data collected from both systems was comparable.

The study group consisted of 17 patients between 21 and 77 years of age. Group was divided into two subgroups - patients qualified for arthroplasty and patients qualified for anterior cruciate ligament reconstruction. Same parameters as in control group were measured.

In study group patients with high fall risk were identified based on their velocity in double-leg stance test with eyes open. Patients with velocity $>30\text{mm/s}$ were qualified to this group and were encouraged to train their proprioception with additional set of exercises. All patients in this group were 65 years or older. None of those patients has fallen in 3 months postoperative period.

Data from a single board system was compared with data from two board system. Data acquired from a two board system is more detailed and is better for clinical analysis in the field of orthopaedics. In arthroplasty patients subgroup patients with significant changes in weight distribution between extremities were identified. Weight shift to healthy side was recognized. Software developed by Professor Clark's team allows better diagnostics in such patients. Two board system seems to be more accurate for orthopaedic patients with weight distribution shift.

Streszczenie

W powyższej pracy dokonano porównania klasycznego urządzenia posturograficznego z platformami Wii Balance Board oraz aplikacją Profesora Rossa Clarka. Zwalidowano ich dokładność w stosunku do standardowo stosowanego urządzenia pomiarowego (Otometrics ICS Balance Platform). Badanie kontrolne przeprowadzono na grupie 25 ochotników w wieku 26-65 lat. Oceniono parametry: przebytej drogi, prędkości, wariancji w osiach przód-tył i bocznej oraz pola powierzchni. Uzyskano porównywalne wyniki pomiarów na obydwu urządzeniach.

Następnie przebadano 17 chorych w wieku 21-77 lat, chorych podzielono na dwie podgrupy - chorzy zakwalifikowani do zabiegów endoprotezoplastyki i chorzy zakwalifikowani do rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego. Oceniono parametry identyczne jak w badaniu kontrolnym.

W grupie chorych zidentyfikowano grupę pacjentów z ryzykiem upadku. Kryterium włączenia do grupy była prędkość wychyleń w teście stania obunóż z oczami otwartymi powyżej 30mm/s. Wszyscy pacjenci w grupie ryzyka mieli wiek powyżej 65 lat. Pacjenci ci otrzymali dodatkowe zalecenia rehabilitacyjne - zestaw ćwiczeń na propriocepcję. Po trzech miesiącach oceniano w badaniu ankiety telefonicznej incydenty upadku - żaden z pacjentów nie upadł.

Dodatkowo porównano wyniki uzyskane dzięki pomiarowi z jednej platformy Wii Balance Board i zestawiono je z wynikami uzyskanymi z pomiarów uzyskanych z dwóch platform Wii Balance Board jednocześnie. Pomiarzy uzyskane dzięki dwóm platformom wnoszą dodatkowe dane kliniczne. Szczególnie istotna jest diagnostyka zaburzeń dystrybucji wagi dla poszczególnych kończyn dolnych u pacjentów ortopedycznych. W podgrupie chorych zakwalifikowanych do endoprotezoplastyki stwierdzono zaburzoną dystrybucję obciążenia - chorzy przeważnie odciążali chorą kończynę. Przetestowane oprogramowanie zespołu Profesora Rossa Clarka umożliwia przeprowadzenie diagnostyki poszerzonej o indywidualny rozkład obciążeń dla każdej z kończyn. Systemy posturografii opartej o dwie platformy posturograficzne są szczególnie przydatne u pacjentów ortopedycznych z zaburzeniami obciążeń kończyn dolnych.

Bibliografia:

- [1] Dostęp WWW z dnia 20.03.2021 <https://en.wikipedia.org/wiki/Posturography>
- [2] Baron JB, History of Posturography. Vestibular and Visual Control on Posture and Locomotor Equilibrium, 54–59. doi:10.1159/000410302
- [3] Nashner LM, Adaptation of human movement to altered environments, Trends in Neurosciences, Volume 5, 1982, Pages 358-361, ISSN 0166-2236, [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(82\)90204-1](https://doi.org/10.1016/0166-2236(82)90204-1).
- [4] Ulotka producenta firmy Natus "Neurocom Balance Manager Systems", strona 2, [https://www.mack-team.de/pdf/na-neurcomübersichtsprospekt\(stand2014\).pdf](https://www.mack-team.de/pdf/na-neurcomübersichtsprospekt(stand2014).pdf)
- [5] Szarzyński A., artykuł ze strony <https://automatykab2b.pl/technika/40360-czujniki-tensometryczne-czyli-co-o-pomiarach-sily-powinien-wiedziec-automatyk>
- [6] Kowalewski ZL, Szymczak T, Podstawy Tensometrii Elektrooporowej oraz praktyczne jej zastosowania, Dziewiętnaste Seminarium Nieniszczące Badania Materiałów, Zakopane, 12-15 marca 2013, s69
- [7] https://pl.wikipedia.org/wiki/Przetwornik_analogowo-cyfrowy
- [8] Werner H, Wpływ pola magnetycznego na proces usprawniania po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego - rozprawa doktorska, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, Poznań 2011
- [9] De Waele, C, Vestibular Tests: Static and Dynamic Posturography. Encyclopedia of Neuroscience, 4217–4218. doi:10.1007/978-3-540-29678-2_6304
- [10] Prosperini L, Pozzilli C, The clinical relevance of force platform measures in multiple sclerosis: a review, Mult. Scler. Int. 2013 (2013) 756564.
- [11] Piirtola M, Era P, Force platform measurements as predictors of falls among older people – A review, Gerontology 52 (2006) 1–16.
- [12] Ondo W, Warrior D, Overby A, Calmes J, i wsp. ., Computerized posturography analysis of progressive supranuclear palsy: a casecontrol comparison with Parkinson's disease and healthy controls, Arch. Neurol. 57 (2000) 1464–1469.

- [13]Merchant-Borna K., Jones CM., Janigro M, Wasserman EB, i wsp. Evaluation of Nintendo Wii Balance Board as a tool for measuring postural stability after sport-related concussion, *Journal of Athletic Training*. 52, 3 (2017): 245–255, <https://doi.org/10.4085/1062-6050-52.1.13>.
- [14]Hung JW, Yu MY, Chang KC, Lee HC, i wsp., Feasibility of using Tetrax biofeedback video games for balance training in patients with chronic hemiplegic stroke. *PM & R*. 8, 10 (2016): 962–970, <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2016.02.009>.
- [15]Siddiqi FA, Masood T, Training on Biodex balance system improves balance and mobility in the elderly, *Journal of the Pakistan Medical Association*. 68, 11 (2018): 1655–1659.
- [16]Dostęp WWW z dnia 19.01.2021
http://iwataasks.nintendo.com/interviews/#/wii/wii_fit/1/0 ;
- [17]United States Patent, Yamazaki et al. , US 9.289,680 B2, Date of Patent: Mar. 22, 2016
- [18]United States Patent, Hayashi et al. US 9.205,327 B2, Date of Patent: Dec. 8, 2015
- [19]Goble DJ, Cone BL, Fling BW. Using the Wii Fit as a tool for balance assessment and neurorehabilitation: the first half decade of "Wii-search". *J Neuroeng Rehabil*. 2014;11:12. Published 2014 Feb 8. doi:10.1186/1743-0003-11-12
- [20] Clark RA., Mentiplay BF, Pua YH., Bower KJ “Reliability and validity of the Wii Balance Board for assessment of standing balance: A systematic review”. *Gait & Posture*. 61 (2018): 40–54, <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.12.022>.
- [21] Beato MC, Morton E, Iadarola C, Winterberger L, i wsp. Can the Wii Fit Balance Board be Used as a Fall Risk Assessment Tool among Poststroke Patients? *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2020 Feb;29(2):104500. doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2019.104500. Epub 2019 Dec 7. PMID: 31818679.
- [22]Franco JR, Jacobs K, Inzerillo C, Kluzik J. The effect of the Nintendo Wii Fit and exercise in improving balance and quality of life in community dwelling elders. *Technol Health Care*. 2012;20(2):95-115. doi: 10.3233/THC-2011-0661. PMID: 22508022.
- [23]Hermes D, Hitch S, Honea A, Stephenson J, Bauer J. Benefits of the Wii Fit as an exercise program for older adults. Paper presented at: The 6th Annual GRASP Symposium; 2010 April 23; Wichita, Kansas

- [24]Nitz JC, Kuys S, Isles R, Fu S. Is the Wii Fit a new-generation tool for improving balance, health and well-being? A pilot study. *Climacteric*. 2010 Oct;13(5):487-91. doi: 10.3109/13697130903395193. PMID: 19905991.
- [25]Baltaci G, Harput G, Haksever B, Ulusoy B, Ozer H. Comparison between Nintendo Wii Fit and conventional rehabilitation on functional performance outcomes after hamstring anterior cruciate ligament reconstruction: prospective, randomized, controlled, double-blind clinical trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2013 Apr;21(4):880-7. doi: 10.1007/s00167-012-2034-2. Epub 2012 Apr 29. PMID: 22543515.
- [26]Fung V, Ho A, Shaffer J, Chung E, Gomez M. Use of Nintendo Wii Fit™ in the rehabilitation of outpatients following total knee replacement: a preliminary randomised controlled trial. *Physiotherapy*. 2012 Sep;98(3):183-8. doi: 10.1016/j.physio.2012.04.001. Epub 2012 Jul 10. PMID: 22898573.
- [27]Negus JJ, Cawthorne DP, Chen JS, Scholes CJ, i wsp., Patient outcomes using Wii-enhanced rehabilitation after total knee replacement - the TKR-POWER study. *Contemp Clin Trials*. 2015 Jan;40:47-53. doi: 10.1016/j.cct.2014.11.007. Epub 2014 Nov 12. PMID: 25460343.
- [28]Cawthorne D, March L, Parker D, Coolican M, Negus J, TKR-power—patient outcomes using Wii enhanced rehabilitation after a total knee replacement, *Physiotherapy*, Volume 101, e204 - e205
- [29]Tichá M, Janatová M, Bohunčák A, Svozílková P, i wsp., Use of force platform and visual feedback in the therapy od stability disorders. *Turkish Society for Medicine and Rehabilitation. Abstract Proceedings of 12th Congress of EU Forum for Research in Rehabilitation 2013. Istanbul – Turkey, 2013, 111, ISSN 1302-0234.*
- [30]Kasprzak B, Janatová M, Use of a posturographic platform and visual feedback in orthopedical rehabilitation. *V Sympozjum Biofizyka a Medycyna. Streszczenia referatów i posterów. Poznań, 20-21 września 2018 r. s. 29-30.*
- [31]Castelli L, Stocchi L, Patrignani M, Sellitto G, i wsp., We-Measure. Toward a low-cost portable posturography for patients with multiple sclerosis using the commercial Wii Balance Board, *J. Neurol. Sci.* 359 (2015) 440–444.

- [32]Sgro F, Monteleone M, Pavone M, Lipoma M, Validity analysis of Wii Balance Board versus baropodometer platform using an open custom integrated application, in: W. Deng (Ed.), Aasri Conference on Sports Engineering and Computer Science 2014, 2014, pp. 22–29.
- [33]Young W, Ferguson S, Brault S, Craig C. Assessing and training standing balance in older adults: a novel approach using the 'Nintendo Wii' Balance Board. *Gait Posture*. 2011 Feb;33(2):303-5. doi: 10.1016/j.gaitpost.2010.10.089. Epub 2010 Nov 18. PMID: 21087865.
- [34]Álvarez-Barbosa F, del Pozo-Cruz J, Sañudo B, Alfonso-Rosa RM, Is the Wii balance board a valid and reliable instrument to assess postural stability in older adults with type 2 diabetes mellitus?, *Diabetes Research and Clinical Practice*, Volume 166, 2020, 108313, ISSN 0168-8227, <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2020.108313>.
- [35]Rey-Martinez J, Perez-Fernandez N, Open source posturography, *Acta Otolaryngol*. 136 (2016) 1225–1229.
- [36]Dostęp WWW z dnia 27/03/2021 <https://www.neuroforma.pl/dla-placowek/>
- [37] Dostęp WWW z dnia 27/03/2021 <https://koordynacja.com.pl/sklep/neurologia-neurorehabilitacja/trening-funkcjonalny/neuroforma-kontrola-rownowagi/>
- [38]Riis J, Eika F, Blomkvist AW, Rahbek MT, i wsp. , Lifespan data on postural balance in multiple standing positions. *Gait Posture*. 2020 Feb;76:68-73. doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.11.004. Epub 2019 Nov 7. PMID: 31734637.
- [39]Blomkvist AW, Eika F, Rahbek MT, Eikhof KD, i wsp. Reference data on reaction time and aging using the Nintendo Wii Balance Board: A cross-sectional study of 354 subjects from 20 to 99 years of age. *PLoS One*. 2017 Dec 29;12(12):e0189598. doi: 10.1371/journal.pone.0189598. PMID: 29287063; PMCID: PMC5747451.
- [40]Eika F, Blomkvist AW, Rahbek MT, Eikhof KD, i wsp., Reference data on hand grip and lower limb strength using the Nintendo Wii balance board: a cross-sectional study of 354 subjects from 20 to 99 years of age. *BMC Musculoskelet Disord*. 2019 Jan 12;20(1):21. doi: 10.1186/s12891-019-2405-7. PMID: 30636625; PMCID: PMC6330568.
- [41]Jørgensen MG, Ryg J, Danielsen MB, Madeleine P, Andersen S. Twenty weeks of isometric handgrip home training to lower blood pressure in hypertensive older adults: a study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*. 2018 Feb 9;19(1):97. doi: 10.1186/s13063-018-2441-x. PMID: 29426359; PMCID: PMC5807761.

- [42]Wilkinson TJ, Nixon DGD, Smith AC. Postural stability during standing and its association with physical and cognitive functions in non-dialysis chronic kidney disease patients. *Int Urol Nephrol.* 2019 Aug;51(8):1407-1414. doi: 10.1007/s11255-019-02192-4. Epub 2019 Jun 18. PMID: 31214955; PMCID: PMC6660492.
- [43]Kalisch T, Kattenstroth JC, Noth S, Tegenthoff M, Dinse HR. Rapid assessment of age-related differences in standing balance. *J Aging Res.* 2011;2011:160490. doi:10.4061/2011/160490
- [44]Larsen LR, Jørgensen MG, Junge T, Juul-Kristensen B, Wedderkopp N, Field assessment of balance in 10 to 14 year old children, reproducibility and validity of the Nintendo Wii board, *BMC Pediatr.* (2014) 14.
- [45]Bunn L, Brady D, Cattani A Marsden J, Cowie D, Wee-Wii-validation: investigating the validity and reliability of the Nintendo Wii Balance Board for assessment of standing balance in young children , *Physiotherapy*, Volume 103, e17
- [46]Chen JYC, Dyn YC, Lin LY, Chen YJ, Cherng RJ, A feasibility study of the clinical application of Wii balance board for balance assessment, *Physiotherapy*, Volume 101, e225
- [47] Kulkarni K, Karssiens T, Kumar V, Pandit H. Obesity and osteoarthritis. *Maturitas.* 2016 Jul;89:22-8. doi: 10.1016/j.maturitas.2016.04.006. Epub 2016 Apr 11. PMID: 27180156.
- [38]Łabaziewicz L, Wiktora Degi *Ortopedia i Rehabilitacja PZWL 2008 tom II rozdział 36 „Wady postawy” s.63*
- [49] Kasperczyk T, *Wady Postawy Ciała - Diagnostyka i leczenie*, Kraków 1998, ISBN 83-901977-0-7
- [50]Dieppe P. Management of hip osteoarthritis. *BMJ.* 1995 Sep 30;311(7009):853-7. doi: 10.1136/bmj.311.7009.853. PMID: 7580495; PMCID: PMC2550857
- [51]Murphy NJ, Eyles JP, Hunter DJ. Hip Osteoarthritis: Etiopathogenesis and Implications for Management. *Adv Ther.* 2016 Nov;33(11):1921-1946. doi: 10.1007/s12325-016-0409-3. Epub 2016 Sep 26. PMID: 27671326; PMCID: PMC5083776]
- [52] Marley WD, Ruiz A. Rapidly progressive osteoarthritis presenting as acute limb shortening. *BMJ Case Rep.* 2013 Apr 25;2013:bcr2013009086. doi: 10.1136/bcr-2013-009086. PMID: 23625672; PMCID: PMC3645436.

- [53]Tsikandylakis G, Overgaard S, Zagra L, Kärrholm J. Global diversity in bearings in primary THA. *EFORT Open Rev.* 2020 Oct 26;5(10):763-775.
doi: 10.1302/2058-5241.5.200002. PMID: 33204520; PMCID: PMC7608521
- [54]Michael JW, Schlüter-Brust KU, Eysel P. The epidemiology, etiology, diagnosis, and treatment of osteoarthritis of the knee. *Dtsch Arztebl Int.* 2010 Mar;107(9):152-62.
doi: 10.3238/arztebl.2010.0152. Epub 2010 Mar 5. Erratum in: *Dtsch Arztebl Int.* 2010 Apr;107(16):294. PMID: 20305774; PMCID: PMC2841860.
- [55]Lespasio MJ, Piuizzi NS, Husni ME, Muschler GF, i wsp., Knee Osteoarthritis: A Primer. *Perm J.* 2017;21:16-183. doi: 10.7812/TPP/16-183. PMID: 29035179; PMCID: PMC5638628.
- [56]Wierusz Kozłowska M, Markuszewski J, Wiktora Degi *Ortopedia i Rehabilitacja PZWL 2008 tom II rozdział 51 „Choroba zwyrodnieniowa stawów” s.283*
- [57]Dell'Isola A, Allan R, Smith SL, Marreiros SS, Steultjens M. Identification of clinical phenotypes in knee osteoarthritis: a systematic review of the literature. *BMC Musculoskelet Disord.* 2016 Oct 12;17(1):425. doi: 10.1186/s12891-016-1286-2. PMID: 27733199; PMCID: PMC5062907
- [58]Wang Y, Teichtahl AJ, Pelletier JP, Abram F, Wluka AE, Hussain SM, Martel-Pelletier J, Cicuttini FM. Knee effusion volume assessed by magnetic resonance imaging and progression of knee osteoarthritis: data from the Osteoarthritis Initiative. *Rheumatology (Oxford).* 2019 Feb 1;58(2):246-253. doi: 10.1093/rheumatology/key274. PMID: 30204907; PMCID: PMC6343462.
- [59]Kellgren JH, Lawrence JS: Radiological assessment of osteoarthritis. *Ann Rheum Dis* 1957; 16: 494–501
- [60]Felson DT. Clinical practice. Osteoarthritis of the knee. *N Engl J Med.* 2006 Feb 23;354(8):841-8. doi: 10.1056/NEJMcp051726. Erratum in: *N Engl J Med.* 2006 Jun 8;354(23):2520. PMID: 16495396.
- [61]Dickschas J, Staubli A, Harrer J. Kniegelenknahe Korrekturosteotomien [Osteotomies around the Knee]. *Z Orthop Unfall.* 2019 Apr;157(2):203-218. German. doi: 10.1055/a-0582-8040. Epub 2019 Apr 15. PMID: 30986879.
- [62]Spalding T, Damasena I, Lawton R. Meniscal Repair Techniques. *Clin Sports Med.* 2020 Jan;39(1):37-56. doi: 10.1016/j.csm.2019.08.012. PMID: 31767109.
- [63]Fanelli GC, Fanelli DG. Multiple Ligament Knee Injuries. *J Knee Surg.* 2018 May;31(5):399-409. doi: 10.1055/s-0038-1636910. Epub 2018 Mar 13. PMID: 29534271.

- [64]Alkjær T, Henriksen M, Simonsen EB. Different knee joint loading patterns in ACL deficient copers and non-copers during walking. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011 Apr;19(4):615-21. doi: 10.1007/s00167-010-1302-2. Epub 2010 Nov 4. PMID: 21052980.
- [65] Mainil-Varlet P, Aigner T, Brittberg M, Bullough P, i wsp. , International Cartilage Repair Society. Histological assessment of cartilage repair: a report by the Histology Endpoint Committee of the International Cartilage Repair Society (ICRS). *J Bone Joint Surg Am.* 2003;85-A Suppl 2:45-57. PMID: 12721345.
- [66]Kasprzak B, Zastosowanie membran kolagenowych w zabiegach ortopedycznych. *Biofizyka a medycyna. T. 5. Kolagen. , Wydaw. Nauk. Uniw. Med. im. K. Marcinkowskiego w Poznaniu, 2017, s. 133-141, p-ISBN: 978-83-7597-311-2*
- [67]Howells BE, Ardern CL, Webster KE. Is postural control restored following anterior cruciate ligament reconstruction? A systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011 Jul;19(7):1168-77. doi: 10.1007/s00167-011-1444-x. Epub 2011 Feb 23. PMID: 21344230.
- [68]Wright RW, Preston E, Fleming BC, Amendola A, i wsp. A systematic review of anterior cruciate ligament reconstruction rehabilitation: part I: continuous passive motion, early weight bearing, postoperative bracing, and home-based rehabilitation. *J Knee Surg.* 2008 Jul;21(3):217-24. doi: 10.1055/s-0030-1247822. PMID: 18686484; PMCID: PMC3692363.
- [69]Wright RW, Preston E, Fleming BC, Amendola A, i wsp. A systematic review of anterior cruciate ligament reconstruction rehabilitation: part II: open versus closed kinetic chain exercises, neuromuscular electrical stimulation, accelerated rehabilitation, and miscellaneous topics. *J Knee Surg.* 2008 Jul;21(3):225-34. doi: 10.1055/s-0030-1247823. PMID: 18686485; PMCID: PMC3692368.
- [70]Kruse LM, Gray B, Wright RW. Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *J Bone Joint Surg Am.* 2012 Oct 3;94(19):1737-48. doi: 10.2106/JBJS.K.01246. PMID: 23032584; PMCID: PMC3448301.
- [71]Wu JQ, Mao LB, Wu J. Efficacy of exercise for improving functional outcomes for patients undergoing total hip arthroplasty: A meta-analysis. *Medicine (Baltimore).* 2019 Mar;98(10):e14591. doi: 10.1097/MD.00000000000014591. PMID: 30855443; PMCID: PMC6417520.

- [72]Dauty M, Genty M, Ribinik P. Physical training in rehabilitation programs before and after total hip and knee arthroplasty. *Ann Readapt Med Phys*. 2007 Jul;50(6):462-8, 455-61. English, French. doi: 10.1016/j.annrmp.2007.04.011. Epub 2007 Apr 24. PMID: 17482710.
- [73]Chua MJ, Hart AJ, Mittal R, Harris IA, i wsp. Early mobilisation after total hip or knee arthroplasty: A multicentre prospective observational study. *PLoS One*. 2017 Jun 27;12(6):e0179820. doi: 10.1371/journal.pone.0179820. PMID: 28654699; PMCID: PMC5487040.
- [74]Lenssen TA, van Steyn MJ, Crijns YH, Waltjé EM, i wsp., Effectiveness of prolonged use of continuous passive motion (CPM), as an adjunct to physiotherapy, after total knee arthroplasty. *BMC Musculoskelet Disord*. 2008 Apr 29;9:60. doi: 10.1186/1471-2474-9-60. PMID: 18442423; PMCID: PMC2386789.
- [75]McRae R, *Kliniczne badanie ortopedyczne*, wyd. 1 pol. / pod red. Tadeusza Gaździka , Wrocław 2006, ISBN 978-83-89581-44-0
- [76]Zampogna B, Vasta S, Amendola A, Uribe-Echevarria Marbach B, i wsp., Assessing Lower Limb Alignment: Comparison of Standard Knee Xray vs Long Leg View. *Iowa Orthop J*. 2015;35:49-54. PMID: 26361444; PMCID: PMC4492139
- [77]Fiebich M: 360-Grad-Betrachtung der DVT in der O&U - Höchste Strahlenhygiene in der 3-D-Hochkontrast-Extremitäten-Diagnostik, *Orthopädie und Unfallchirurgie – Mitteilungen und Nachrichten*, Ausgabe 3/19, 2019
- [78]Zou J, Yang H, Miyazaki M, Morishita Y, i wsp., Dynamic bulging of intervertebral discs in the degenerative lumbar spine. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009 Nov 1;34(23):2545-50. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181b32998. PMID: 19841611.
- [79]Gilbert JW, Wheeler GR, Lingreen RA, Johnson RR. Open stand-up MRI: a new instrument for positional neuroimaging. *J Spinal Disord Tech*. 2006 Apr;19(2):151-4. doi: 10.1097/01.bsd.0000188665.54014.8d. PMID: 16760793.
- [80] Soon-Woo H et al. 145. Missed Spondylolisthesis in Static MRIs but Found in Dynamic MRIs in the Patients with Low Back Pain, *The Spine Journal*, Volume 7, Issue 5, 69S - 70S
- [81]Takasaki H.: Moire Topography. *Applied Optics*, Vol. 12, Issue 4, 1973; 845-850. 55.

- [82]Leach JM, Mancini M, Peterka RJ, Hayes TL, Horak FB. Validating and calibrating the Nintendo Wii balance board to derive reliable center of pressure measures. *Sensors (Basel)*. 2014 Sep 29;14(10):18244-67. doi: 10.3390/s141018244. PMID: 25268919; PMCID: PMC4239899.
- [83]ICS Balance Platform User Manual s. 56 , GN Otometrics A/S, Dania 2011
- [84]Bland JM, Altman DG, Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement, 1986 *Lancet*. 327 (8476): 307–10. doi:10.1016/S0140-6736(86)90837-8. PMID 2868172.
- [85]Howcroft J, Lemaire ED, Kofman J, McIlroy WE. Elderly fall risk prediction using static posturography. *PLoS One*. 2017 Feb 21;12(2):e0172398. doi: 10.1371/journal.pone.0172398. PMID: 28222191; PMCID: PMC5319679.
- [86]Huurnink A, Fransz DP, Kingma I, van Dieën JH, Comparison of a laboratory grade force platform with a Nintendo Wii Balance Board on measurement of postural control in single-leg stance balance tasks, *J. Biomech*. 46 (2013) 1392–1395.
- [87]Pagnacco G, Oggero E, Wright CHG, Biomedical instruments versus toys: a preliminary comparison of force platforms and the Nintendo Wii Balance Board – *Biomed 2011, Biomed. Sci. Instrum*. 47 (2011) 12–17.
- [88]Bonnechere B, Jansen B, Omelina L, Rooze M, Jan SV, Validation of the balance board (TM) for clinical evaluation of balance through different conditions, in: H.M. Fardoun, V.M.R. Penichet, D.M. Alghazzawi (Eds.), *ICTs for Improving Patients Rehabilitation Research Techniques, Rehab 2014, 2015*, pp. 11–23.
- [89]Chang JO, Levy SS, Seay SW, Goble DJ, An alternative to the Balance Error Scoring System: using a low-cost balance board to improve the validity/reliability of sports-related concussion balance testing, *Clin. J. Sport Med*. 24 (2014) 256–262.
- [90]Pavan P, Cardaioli M, Ferri I, Gobbi E, Carraro A, A contribution to the validation of the Wii Balance Board for the assessment of standing balance, *Eur. J. Sport Sci*. 15 (2015) 600–605.
- [91]Scaglioni-Solano P, Aragón-Vargas LF, Validity and reliability of the Nintendo Wii Balance Board to assess standing balance and sensory integration in highly functional older adults, *Int. J. Rehabil. Res*. 37 (2014) 138–143.
- [92]Tweed N, Williams S, Williams D, Dingley J, Utility of a low-cost wireless force platform as a potential clinical test of balance recovery after neuraxial anaesthesia, *Int. J. Obstet. Anesth*. 23 (2014) 227–232.

- [93]Weaver TB, Ma C, Laing AC, Use of the nintendo Wii Balance Board for studying standing static balance control: technical considerations, force-plate congruency, and the effect of battery life, *J. Appl. Biomech.* (2016) 1–22.
- [94]Clark RA, Bryant AL, Pua YH, McCrory P, i wsp., Validity and reliability of the Nintendo Wii Balance Board for assessment of standing balance, *Gait Posture* 31 (2010) 307–310.
- [95]Holmes JD, Jenkins ME, Johnson AM, Hunt MA, Clark RA, Validity of the Nintendo Wii (R) balance board for the assessment of standing balance in Parkinson's disease, *Clin. Rehabil.* 27 (2013) 361–366.
- [96]Chang W-D, Chang W-Y, Lee C-L, Feng C-Y, Validity and reliability of Wii Fit balance board for the assessment of balance of healthy young adults and the elderly, *J. Phys. Ther. Sci.* 25 (2013) 1251–1253.
- [97]Park D-S, Lee G, Validity and reliability of balance assessment software using the Nintendo Wii Balance Board: usability and validation, *J. Neuroeng. Rehabil.* 11(2014) 99.
- [98]Wright WG, McDevitt J, Tierney R, Haran FJ, i wsp., Assessing subacute mild traumatic brain injury with a portable virtual reality balance device, *Disabil. Rehabil.* (2016) 1–9.
- [99]Chiarovano E, de Waele C, MacDougall HG, Rogers SJ, i wsp., Maintaining balance when looking at a virtual reality three-dimensional display of a field of moving dots or at a virtual reality scene, *Front. Neurol.* (2015) 6.
- [100]Audiffren J, Contal E, Preprocessing the Nintendo Wii Board signal to derive more accurate descriptors of statokinesigrams, *Sensors.* 16, 8 (2016): 1208, <https://doi.org/10.3390/s16081208>.
- [101]Bartlett HL, Ting LH, Bingham JT, Accuracy of force and center of pressure measures of the Wii Balance Board, *Gait Posture* 39 (2014) 224–228.
- [102]Yamamoto K, Matsuzawa M. Validity of a jump training apparatus using Wii Balance Board. *Gait Posture.* 2013 May;38(1):132-5. doi: 10.1016/j.gaitpost.2012.11.002. Epub 2012 Dec 7. PMID: 23219781.
- [103]Clark RA, McGough R, Paterson K. Reliability of an inexpensive and portable dynamic weight bearing asymmetry assessment system incorporating dual Nintendo Wii Balance Boards. *Gait Posture.* 2011 Jun;34(2):288-91. doi: 10.1016/j.gaitpost.2011.04.010. Epub 2011 May 12. PMID: 21570290.

- [104]Ikutomo H, Nagai K, Tagomori K, i wsp.,. Gait Abnormality Predicts Falls in Women After Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2018 Oct;33(10):3215-3219. doi: 10.1016/j.arth.2018.05.044. Epub 2018 Jun 6. PMID: 29941382
- [105]Lo CWT, Tsang WWN, Yan CH, i wsp., Risk factors for falls in patients with total hip arthroplasty and total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *Osteoarthritis Cartilage*. 2019 Jul;27(7):979-993. doi: 10.1016/j.joca.2019.04.006. Epub 2019 Apr 24. PMID: 31028883.
- [106]Swinkels A, Newman JH, Allain TJ, A prospective observational study of falling before and after knee replacement surgery, *Age Ageing*. 2009 Mar;38(2):175-81. doi: 10.1093/ageing/afn229. Epub 2008 Nov 21, PMID: 19029071.
- [107]Kasprzak B, Budowa platformy posturograficznej na bazie mikrokomputera Raspberry Pi – prototyp mobilnego urządzenia rehabilitacyjnego ISSN 0025-6552 *Mechanik* nr 10/2019 s 670

Spis rycin:

Rycina 1. Praca Etienne-Julesa i ryciny eksperymentalnych urządzeń do rejestracji ruchu i oceny nacisku

Rycina 2. Mostek Wheatstone'a (źródło: Szarzyński A. - portal automatykab2b.pl [5])

Rycina 3. Przykład statokinezygramu (a) i dwóch stabilogramów (b,c) (źródło: Werner H [8])

Rycina 4. Jeden z pierwszych rysunków technicznych Wii Balance Board (źródło: US PATENT 9.289,680 B2 [17])

Rycina 5. Przedstawiająca ilość publikacji w 2012 roku, aktualnie można odnaleźć ponad 140 prac dotyczących badań z Wii Balance Board (źródło Goble i wsp. [19])

Rycina 6. a) Klasyczne zastosowanie Wii Balance Board wraz z konsolą Wii podłączoną do domowego telewizora b) Ekran z aplikacji Wii Fit przedstawiający możliwość oceny balansu w osi strzałkowej c) Ekran z aplikacji Wii Fit przedstawiający uproszczone badanie posturograficzne (źródło Beato i wsp. [21])

Rycina 7. Neuroforma PRO Balance (źródło: www.neuroforma.pl)

Rycina 8. Fysiometer C-Station (źródło: www.fysiometer.com)

Rycina 9. Adaptacja statycznej platformy posturograficznej do badań dynamicznych (źródło: www.pro-wiss.de)

Rycina 10. Narzędzie wykorzystywane przez autora do pomiaru nierówności kończyn dolnych. Wystandaryzowana grubość deseczek 5mm ułatwia pomiar wyrównania kończyn. Użycie dwóch kolorów niweluje możliwość popełnienia błędu podczas liczenia ilości deseczek. Produkcja: Orthopädie- und Rehattechnik Dresden GmbH.

Rycina 11. Przystawka adaptująca smartfon do skoliometru. Opracowana przez poznańską Klinikę Chorób Kręgosłupa i Ortopedii Dziecięcej przystawka do smartfona pozwala zaadaptować dowolny smartfon do skoliometru. Umożliwia ona dokładny pomiar z wykorzystaniem wbudowanego w telefon żyroskopu.

Rycina 12. Tomograf umożliwiający badanie pacjenta w pozycji stojącej (źródło: Uniklinik Freiburg, Gelenk Klinikum)

Rycina 13. Różnice w badaniu rezonansu magnetycznego wykonanego w pozycji stojącej i leżącej (źródło: <https://www.upright-mrt.de/>)

Rycina 14. Zestaw do pomiarów z wykorzystaniem aplikacji Rossa Clarka oraz dwóch platform Wii Balance Board (komunikacja poprzez protokół Bluetooth)

Rycina 15. Przekrój przez czujnik tensometryczny pochodzący z patentu firmy Nintendo (źródło US PATENT 9.289,680 B2)

Rycina 16. Ostateczny kształt Wii Balance Board (źródło: US PATENT 9.205,327 B2)

Rycina 17. Schemat działania Wii Balance Board (źródło: US PATENT 9.289,680 B2)

Rycina 18. Możliwość analizy ruchu przy użyciu Wii Balance Board (źródło Leach i wsp. [61])

Rycina 19. Ekran główny aplikacji profesora Rossa Clarka

Rycina 20. Ekran z wynikami pomiarów aplikacji profesora Rossa Clarka

Rycina 21. Zestaw do walidacji ICS (komunikacja przewodowa przez port USB)

Rycina 22. Zrzut ekranu z aplikacji VestLab 7.1. dostarczonej wraz platformą

Rycina 23. Zbiórny wykres Blanda-Altmana dla parametru przebytej drogi dla czterech testów walidujących (TESTY: 1) stanie obunóż z oczami otwartymi, 2) stanie jednonóż na prawej kończynie dolnej, 3) stanie jednonóż na lewej kończynie dolnej, 4) stanie obunóż z oczami zamkniętymi), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard.

Rycina 24. Zbiórny wykres Blanda-Altmana dla parametru prędkości dla czterech testów walidujących (TESTY : 1) stanie obunóż z oczami otwartymi, 2) stanie jednonóż na prawej kończynie dolnej, 3) stanie jednonóż na lewej kończynie dolnej, 4) stanie obunóż z oczami zamkniętymi), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard

Rycina 25. Zbiórny wykres Blanda-Altmana dla parametru parametru zmienności wychyleń w osi lewo-prawo dla czterech testów walidujących (TESTY: 1) stanie obunóż z oczami otwartymi, 2) stanie jednonóż na prawej kończynie dolnej, 3) stanie jednonóż na lewej kończynie dolnej, 4) stanie obunóż z oczami zamkniętymi), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard.

Rycina 26. Zbiórny wykres Blanda-Altmana dla parametru parametru zmienności wychyleń w osi przód-tył dla czterech testów walidujących (TESTY: 1) stanie obunóż z oczami otwartymi, 2) stanie jednonóż na prawej kończynie dolnej, 3) stanie jednonóż na lewej kończynie dolnej, 4) stanie obunóż z oczami zamkniętymi), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard.

Rycina 27. Zbiórny wykres Blanda-Altmana dla parametru pola powierzchni dla czterech testów walidujących (TESTY: 1) stanie obunóż z oczami otwartymi, 2) stanie jednonóż na prawej kończynie dolnej, 3) stanie jednonóż na lewej kończynie dolnej, 4) stanie obunóż z oczami zamkniętymi), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs.

standard.

Rycina 28. Zbiorczy wykres Blanda-Altmana dla parametru przebytej drogi dla ponawiananych identycznych testów obunóż na platformie ICS, porównanie standardu vs. standard - TEST 1 ICS (stanie obunóż, oczy otwarte) vs TEST 2 ICS (stanie obunóż, oczy otwarte) oraz TEST 5 ICS (stanie obunóż, oczy zamknięte) vs TEST 6 ICS (stanie obunóż, oczy zamknięte)

Rycina 29. Zbiorczy wykres Blanda-Altmana dla parametru prędkości dla ponawiananych identycznych testów obunóż na platformie ICS, porównanie standardu vs. standard - TEST 1 ICS (stanie obunóż, oczy otwarte) vs TEST 2 ICS (stanie obunóż, oczy otwarte) oraz TEST 5 ICS (stanie obunóż, oczy zamknięte) vs TEST 6 ICS (stanie obunóż, oczy zamknięte)

Rycina 30. Zbiorczy wykres Blanda-Altmana dla parametru wariacji lewo-prawo dla ponawiananych identycznych testów obunóż na platformie ICS, porównanie standardu vs. standard - TEST 1 ICS (stanie obunóż, oczy otwarte) vs TEST 2 ICS (stanie obunóż, oczy otwarte) oraz TEST 5 ICS (stanie obunóż, oczy zamknięte) vs TEST 6 ICS (stanie obunóż, oczy zamknięte)

Rycina 31. Zbiorczy wykres Blanda-Altmana dla parametru wariacji przód-tył dla ponawiananych identycznych testów obunóż na platformie ICS, porównanie standardu vs. standard - TEST 1 ICS (stanie obunóż, oczy otwarte) vs TEST 2 ICS (stanie obunóż, oczy otwarte) oraz TEST 5 ICS (stanie obunóż, oczy zamknięte) vs TEST 6 ICS (stanie obunóż, oczy zamknięte)

Rycina 32. Zbiorczy wykres Blanda-Altmana dla parametru pola powierzchni dla ponawiananych identycznych testów obunóż na platformie ICS, porównanie standardu vs. standard - TEST 1 ICS (stanie obunóż, oczy otwarte) vs TEST 2 ICS (stanie obunóż, oczy otwarte) oraz TEST 5 ICS (stanie obunóż, oczy zamknięte) vs TEST 6 ICS (stanie obunóż, oczy zamknięte)

Rycina 33. Statokinezyjogram uzyskany dla pierwszego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 1 - stanie obunóż na jednej desce Wii Balance Board, oczy otwarte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył.

Rycina 34. Statokinezyjogram uzyskany dla pierwszego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 2 - stanie jednonóż na prawej kończynie dolnej na jednej desce Wii Balance Board, oczy otwarte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył.

Rycina 35. Statokinezyjogram uzyskany dla pierwszego badanego w grupie kontrolnej

podczas Testu 3 - stanie jednonóż na lewej kończynie dolnej na jednej desce Wii Balance Board, oczy otwarte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył.

Rycina 36. Statokinezzjogram uzyskany dla pierwszego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 4 - stanie dwunóż na jednej desce Wii Balance Board, oczy zamknięte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył

Rycina 37. Statokinezzjogramy (dla każdej kończyny dolnej osobny) uzyskane dla pierwszego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 5 - stanie na dwóch deskach Wii Balance Board, oczy otwarte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył

Rycina 38. Statokinezzjogram uzyskany dla pierwszego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 6 - stanie jednonóż na prawej desce Wii Balance Board, oczy otwarte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył

Rycina 39. Statokinezzjogram uzyskany dla pierwszego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 7 - stanie jednonóż na lewej desce Wii Balance Board, oczy otwarte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył

Rycina 40. Statokinezzjogramy (dla każdej kończyny dolnej osobny) uzyskane dla pierwszego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 8 - stanie obunóż, oczy zamknięte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył

Rycina 41. Statokinezzjogram uzyskany dla drugiego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 1 - stanie obunóż na jednej desce Wii Balance Board, oczy otwarte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył.

Rycina 42. Statokinezzjogram uzyskany dla drugiego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 2 - stanie jednonóż na prawej kończynie dolnej na jednej desce Wii Balance Board, oczy otwarte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył.

Rycina 43. Statokinezzjogram uzyskany dla drugiego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 3 - stanie jednonóż na lewej kończynie dolnej na jednej desce Wii Balance Board, oczy otwarte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył.

Rycina 44. Statokinezzjogram uzyskany dla drugiego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 4 - stanie dwunóż na jednej desce Wii Balance Board, oczy zamknięte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył

Rycina 45. Statokinezygramy (dla każdej kończyny dolnej osobny) uzyskane dla drugiego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 5 - stanie na dwóch deskach Wii Balance Board, oczy otwarte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył

Rycina 46. Statokinezygram uzyskany dla drugiego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 6 - stanie jednonóż na prawej desce Wii Balance Board, oczy otwarte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył

Rycina 47. Statokinezygram uzyskany dla drugiego badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 7 - stanie jednonóż na lewej desce Wii Balance Board, oczy otwarte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył

Rycina 48. Statokinezygramy (dla każdej kończyny dolnej osobny) uzyskane dla badanego w grupie kontrolnej podczas Testu 8 - stanie obunóż, oczy zamknięte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył

Rycina 49. Graficzna prezentacja prędkości w mm/s uzyskanych dla poszczególnych pacjentów w Podgrupie 1 (podgrupa pacjentów przed i po zabiegach endoprotezoplastyki).

Rycina 50. Graficzna prezentacja prędkości w mm/s uzyskanych dla poszczególnych pacjentów w Podgrupie 2 (podgrupa pacjentów z uszkodzeniem więzadła krzyżowego przedniego lub/i innymi uszkodzeniami w obrębie stawu kolanowego wpływającymi na niestabilność).

Rycina 51. Porównanie różnic obciążania kończyn dolnych pomiędzy podgrupą 1, a grupą kontrolną.

Rycina 52. Porównanie różnic obciążania kończyn dolnych pomiędzy podgrupą 1, a podgrupą 2

Rycina 53. Statokinezygramy (dla każdej kończyny dolnej osobny) uzyskane dla 67 letniej chorej w grupie badanej podczas Testu 5 - stanie na dwóch deskach Wii Balance Board, oczy otwarte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył

Rycina 54. Statokinezygramy (dla każdej kończyny dolnej osobny) uzyskane dla 67 letniej chorej w grupie badanej podczas Testu 8 - stanie na dwóch deskach Wii Balance Board, oczy zamknięte. Na osi x przedstawiono wychylenia lewo-prawo, na osi y wychylenia przód-tył

Ryciny w suplemencie:

Rycina A1. Wykres Blanda-Altmana dla parametru przebytej drogi dla pierwszego testu walidującego (TEST 1 - postawa swobodna, stanie obunóż, oczy otwarte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard

Rycina A2. Wykres Blanda-Altmana dla parametru prędkości dla pierwszego testu walidującego (TEST 1 - postawa swobodna, stanie obunóż, oczy otwarte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard

Rycina A3. Wykres Blanda-Altmana dla parametru zmienności wychyleń w osi lewo-prawo dla pierwszego testu walidującego (TEST 1 - postawa swobodna, stanie obunóż, oczy otwarte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard

Rycina A4. Wykres Blanda-Altmana dla parametru zmienności wychyleń w osi przód-tył dla pierwszego testu walidującego (TEST 1 - postawa swobodna, stanie obunóż, oczy otwarte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard

Rycina A5. Wykres Blanda-Altmana dla parametru pola powierzchni dla pierwszego testu walidującego (TEST 4 - Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy zamknięte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard

Rycina A6. Wykres Blanda-Altmana dla parametru przebytej drogi dla drugiego testu walidującego (TEST 2 - Stanie na prawej nodze, oczy otwarte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard

Rycina A7. Wykres Blanda-Altmana dla parametru prędkości dla drugiego testu walidującego (TEST 2 - Stanie na prawej nodze, oczy otwarte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard

Rycina A8. Wykres Blanda-Altmana dla parametru zmienności wychyleń w osi lewo-prawo dla drugiego testu walidującego (TEST 2- Stanie na prawej nodze, oczy otwarte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard

Rycina A9. Wykres Blanda-Altmana dla parametru zmienności wychyleń w osi przód-tył dla drugiego testu walidującego (TEST 2 - Stanie na prawej nodze, oczy otwarte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard

Rycina A10. Wykres Blanda-Altmana dla parametru pola powierzchni dla trzeciego testu walidującego (TEST 4 - Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy zamknięte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard

Rycina A11. Wykres Blanda-Altmana dla parametru przebytej drogi dla trzeciego testu walidującego (TEST 3 - Stanie na lewej nodze, oczy otwarte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard

Rycina A12. Wykres Blanda-Altmana dla parametru prędkości dla trzeciego testu walidującego (TEST 3 - Stanie na lewej nodze, oczy otwarte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard

Rycina A13. Wykres Blanda-Altmana dla parametru zmienności wychyleń w osi lewo-prawo dla trzeciego testu walidującego (TEST 3 - Stanie na lewej nodze, oczy otwarte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard

Rycina A14. Wykres Blanda-Altmana dla parametru zmienności wychyleń w osi przód-tył dla trzeciego testu walidującego (TEST 3 - Stanie na lewej nodze, oczy otwarte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard

Rycina A15. Wykres Blanda-Altmana dla parametru pola powierzchni dla trzeciego testu walidującego (TEST 4 - Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy zamknięte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard

Rycina A16. Wykres Blanda-Altmana dla parametru przebytej drogi dla czwartego testu walidującego (TEST 4 - Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy zamknięte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard

Rycina A17. Wykres Blanda-Altmana dla parametru prędkości dla czwartego testu walidującego (TEST 4 - Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy zamknięte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard

Rycina A18. Wykres Blanda-Altmana dla parametru zmienności wychyleń w osi lewo-prawo dla czwartego testu walidującego (TEST 4 - Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy zamknięte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard

Rycina A19. Wykres Blanda-Altmana dla parametru zmienności wychyleń w osi przód-tył dla czwartego testu walidującego (TEST 4 - Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy zamknięte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard

Rycina A20. Wykres Blanda-Altmana dla parametru pola powierzchni dla czwartego testu walidującego (TEST 4 - Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy zamknięte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard

Spis Tabel:

Tabela 1. Badania walidujące na jednej platformie ICS

Tabela 2. Badanie walidujące na Wii Balance Board z użyciem jednej platformy

Tabela 3. Badanie walidujące na Wii Balance Board z użyciem dwóch platform

Tabela 4. Badanie chorych na Wii Balance Board z użyciem jednej platformy

Tabela 5. Badanie chorych i pomiary z użyciem dwóch platform

Tabela 6. Porównanie wyników systemu pomiarowego ICS z pomiarami z wykorzystaniem jednej platformy Wii Balance Board

Tabela 7 Prędkości w zależności od podgrup

Tabela 8 Schorzenia i wiek pacjentów z możliwym ryzykiem upadku zakwalifikowanych do ćwiczeń

Tabela 9 Przedoperacyjny pomiar obciążeń dla poszczególnych kończyn dolnych pacjentów wymagających endoprotezoplastyki z użyciem dwóch platform Wii Balance Board

Tabela 10. Zestawienie wyników testów Blanda-Altmana dla weryfikacji pomiędzy standardem a jedną deską Wii Balance Board

Tabela 11. Normy parametrów równowagi zaproponowane przez producenta ICS Balance Board, badanie na grupie 141 pacjentów otolaryngologicznych (źródło: ICS Balance Platform User Manual [83])

Tabela 12. Normy parametrów równowagi dla kobiet dla Wii Balance Board zaproponowane przez Riis i wsp. (źródło: Riis i wsp. [29]).

Tabela 13. Normy parametrów równowagi dla kobiet dla Wii Balance Board zaproponowane przez Riis i wsp. (źródło: Riis i wsp. [29]).

Załączniki:

Uchwała Komisji Bioetycznej 905/16



UNIWERSYTET MEDYCZYNY IM. KAROLA MARCINKOWSKIEGO W POZNANIU

KOMISJA BIOETYCZNA PRZY UNIWERSYTECIE MEDYCZNYM
IM. KAROLA MARCINKOWSKIEGO W POZNANIU

Collegium Maius
ul. Fredry 10
61-701Poznań

tel. (+48 61) 854 62 51, 854 60 60
fax. (+48 61) 854 61 07
www.bioetyka.ump.edu.pl

Uchwała nr 905/16

Do polskiego projektu Ustawy z dnia 3 grudnia 2010 r. o sposobach leczenia (tekst ustawy) (Dz. U. 2010, Nr 237, poz. 1431 z późn. zm.); Rozporządzenie Ministra Zdrowia (Opis) z dnia 11 maja 2010 r. w sprawie sposobów leczenia osób porażonych i niewidomych oraz innych osób niepełnosprawnych (Dz. U. Nr 47, poz.496) Ustawa z dnia 4 sierpnia 2010 r. Prawo farmaceutyczne (Dz. U. 2010 Nr 45, poz. 231 z późn. zm.); Rozporządzenie Ministra Finansów z dnia 10 kwietnia 2010 r. w sprawie obrotowego obciążenia odpowiedzialności specjalnej lekarzy i specjalistów (Dz. U. 2010 nr 345, poz. 2037 z późn. zm.); Rozporządzenie Ministra Finansów z dnia 18 maja 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie obrotowego obciążenia odpowiedzialności specjalnej lekarzy i specjalistów (Dz. U. Nr 200, poz. 843); Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 28 kwietnia 2010 r. w sprawie sposobu prowadzenia badań klinicznych i sposobu monitorowania (Dz. U. 2010 Nr 102, poz. 2193); Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2010 r. w sprawie sposobu prowadzenia wydziału etykiety klinicznej i sposobu monitorowania (Dz. U. Nr 204, poz. 1067); Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 12 kwietnia 2010 r. w sprawie sposobu monitorowania badań klinicznych w zakresie i kwalifikacji klinicznych, sposobu opisu na formularzu wniosku oraz sposobu ich badania i wykonania badań klinicznych (Dz. U. 2010, nr 242, poz. 1432, z późn. zm.); Ustawa z dnia 28 maja 2011 r. o sposobach leczenia (Dz. U. 2011, nr 107, poz. 478, z późn. zm.); Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 4 października 2011 r. w sprawie obrotowego obciążenia odpowiedzialności specjalnej lekarzy i lekarzy klinicznych w zakresie i prowadzenia badań klinicznych (Dz. U. 2011, Nr 198, poz. 1204); Ustawa z dnia 18 czerwca 2011 r. o Ogólnym Rejestrze Pracodawców, Wykonawców Usługowych i Pracodawców Usługowych (Dz. U. 2011 nr 81, poz. 455); Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 maja 2012 r. w sprawie badań Produktu Klinicznego (Dz. U. 2012, poz. 495); Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 maja 2012 r. w sprawie sposobu dokumentacji przebiegu badań w zakresie i kwalifikacji klinicznych produktów leczniczych oraz w sprawie sposobu i sposobu oznaczenia opisu w danych wniosku w sprawie badań klinicznych (Dz. U. 2012, Nr 9, poz. 492) w sprawie w Zakładzie Bioetyki - Działu Etykiety Postępowania w Zakępieniach Medycznych z Działem Etykiety oraz projektu RCV 602.

Komisja Bioetyczna, na posiedzeniu w dniu 15 września 2016 r.

rozpatrzyła wniosek dotyczący prowadzenia badań naukowych.

Kierownik projektu:

prof. dr hab. Leszek Kubisz
lek. Bartosz Kasprzak

Miejsce prowadzenia badań:

Katedra Biofizyki, Zakład Biofizyki Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu

Główny badacz: lek. Bartosz Kasprzak

Członkowie zespołu

badawczego: prof. dr hab. Leszek Kubisz

Temat badań:

„Porównanie wyników klasycznej rehabilitacji po rekonstrukcji więzadła krzyżowego z rehabilitacją wspomaganą ćwiczeniami opartymi o posturografię i autorską aplikację RehaAssist”.

Komisja wydała uchwałę o pozytywnym zaopiniowaniu tego wniosku

Przewodniczący Komisji

prof. dr hab. med. Paweł Chęciński



UNIwersytet MEDYCZNY Im. KAROLA MARCINKOWSKIEGO W POZNANIU

KOMISJA BIOETYCZNA PRZY UNIwersYTECIE MEDYCZNYM IM. KAROLA MARCINKOWSKIEGO W POZNANIU

Collegium Stomatologicum
ul. Bukowska 70
60-812 Poznań

tel. (+48 61) 854 73 36
www.bioetyka.ump.edu.pl

Uchwała nr 168/20

Ustawy z dnia 5 grudnia 1999 r. o zawodach lekarzy i lekarzach dentysty (Dz. U. z 2018 r., poz. 417 z późn. zm.); Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 11 maja 1999 r. w sprawie szczegółowych zasad projektowania i prowadzenia oraz trybu otoczenia badań biologicznych (Dz. U. z 1999 r., Nr 47, poz. 498); Ustawa z dnia 4 września 2001 r. Prawa farmaceutyczne (t.j. Dz. U. z 2017 r., poz. 2211 z późn. zm.); Rozporządzenie Ministra Finansów z dnia 19 kwietnia 2004 r. w sprawie obowiązkowego ubezpieczenia odpowiedzialności cywilnej lekarzy i sędziów (Dz. U. z 2004 r., Nr 101, poz. 1014 z późn. zm.); Rozporządzenie Ministra Finansów z dnia 18 maja 2003 r. zatwierdzającego rozporządzenie w sprawie obowiązkowego ubezpieczenia odpowiedzialności cywilnej lekarzy i sędziów (Dz. U. z 2003 r., Nr 101, poz. 1014 z późn. zm.); Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2004 r. w sprawie sposobu prowadzenia badań laboratoryjnych z udziałem zwierząt (Dz. U. z 2004 r., Nr 101, poz. 1014); Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 10 kwietnia 2004 r. w sprawie zlecenia samoprowadzonego cyklicznego kontrolnego zliczenia produkcji leczniczego (Dz. U. z 2004 r., Nr 104, poz. 1104); Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 17 lutego 2014 r. w sprawie sposobu wykonania zaopiniowania z badania klinicznego sposobu wykonania lub obrotowego wyrobu medycznego do doposażenia oraz wyrobów opłat ze zliczenia tych wyrobów (Dz. U. z 2014 r., poz. 206); Ustawa z dnia 28 maja 2016 r. w sprawie świadczenia gwarantowanego lub obrotowego wyrobu medycznego do doposażenia oraz wyrobów opłat ze zliczenia tych świadczeń (Dz. U. z 2016 r., poz. 206); Ustawa z dnia 28 maja 2016 r. w sprawie świadczenia gwarantowanego lub obrotowego wyrobu medycznego do doposażenia oraz wyrobów opłat ze zliczenia tych świadczeń (Dz. U. z 2016 r., poz. 206); Ustawa z dnia 18 marca 2011 r. o Urzędzie Rejentów Produktów Lekarskich (Dz. U. z 2011 r., poz. 129); Ustawa z dnia 18 marca 2011 r. o Urzędzie Rejentów Produktów Lekarskich w zakresie prowadzenia badania klinicznego wyrobu (Dz. U. z 2011 r., poz. 129 z późn. zm.); Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 marca 2012 r. w sprawie Dokonywania Produktów Lekarskich (Dz. U. z 2012 r., poz. 48); Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 12 października 2018 r. w sprawie zasad dokonywania produktowych i badawczo-eksperymentalnych produktów leczniczych oraz opłat za badania kliniczne w gospodarkie badawczo-leczniczej (Dz. U. z 2018 r., poz. 1904); w sprawie o Badawczych Technologiach - Zespoły Specjalne Postępowania w Skierowanych Medycynie i Diagnostyce Leci i Inni Projekty NCF-GCP

Komisja Bioetyczna, na posiedzeniu w dniu 13 lutego 2020 r.

rozprzeżyła wniosek dotyczący prowadzenia badań naukowych.

Kierownik projektu: lek. Bartosz Kasprzak

***Miejsce prowadzenia badań:
Katedra Biofizyki, Zakład Biofizyki Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu***

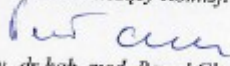
Główny badacz: lek. Bartosz Kasprzak

***Członkowie zespołu
badawczego: prof. dr hab. Leszek Kubisz
dr hab. Marcin Mardas
prof. Ross Clark***

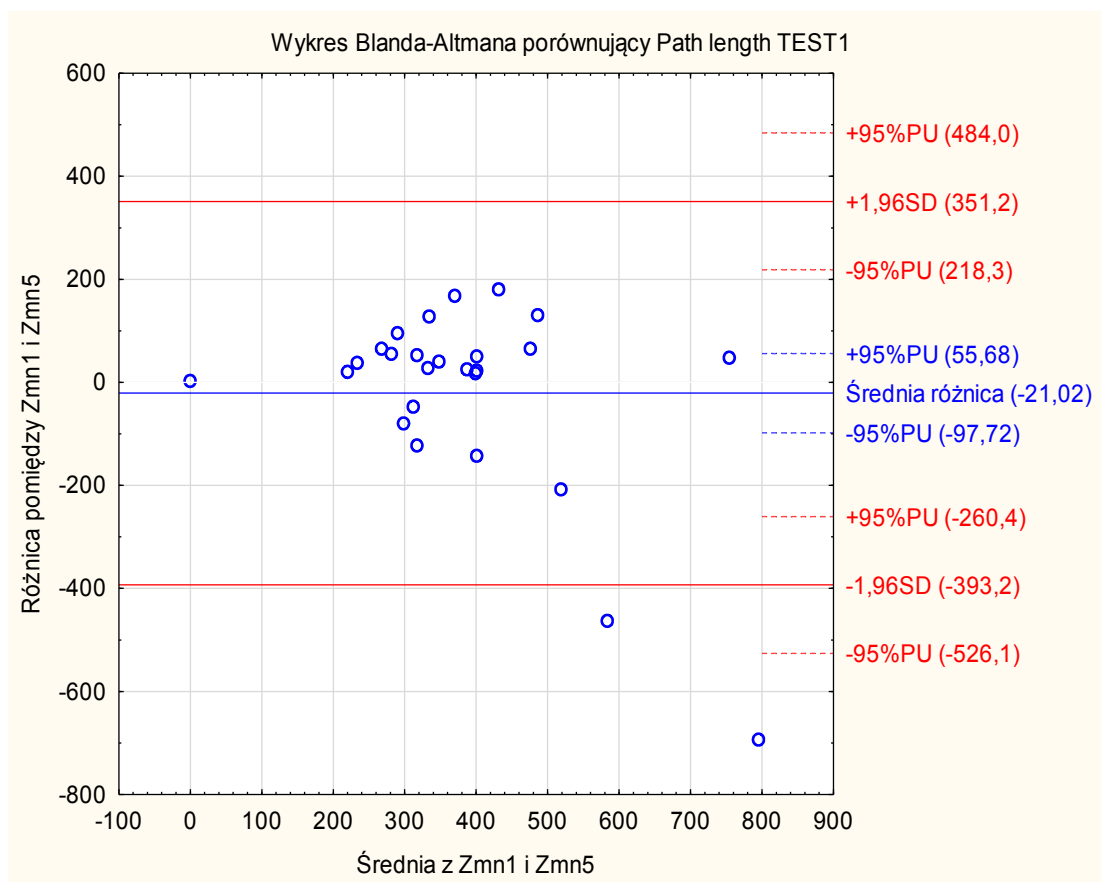
***Temat badań:
„Porównanie wyników klasycznej rehabilitacji po rekonstrukcji więzadła
krzyżowego z rehabilitacją wspomaganą ćwiczeniami opartymi o
posturografię i autorską aplikację RehaAssist”.***

***Komisja podjęła Uchwałę o pozytywnym zaopiniowaniu poprawek wprowadzonych
do protokołu powyższego badania, polegających na zaktualizowaniu informacji o
badaniu oraz zgody na udział w badaniu pod kątem ochrony danych osobowych,
zgodnie z Aneks nr 2 z dnia 13.02.2020r. do Uchwały Komisji Bioetycznej nr
905/16 z dnia 15.09.2016r. (Aneks nr 1 z dnia 05.12.2019r.)
Do dokumentacji dołączono Informację i Formularz Zgody Pacjenta (wersja 3 z
dnia 05.02.2020r.)***

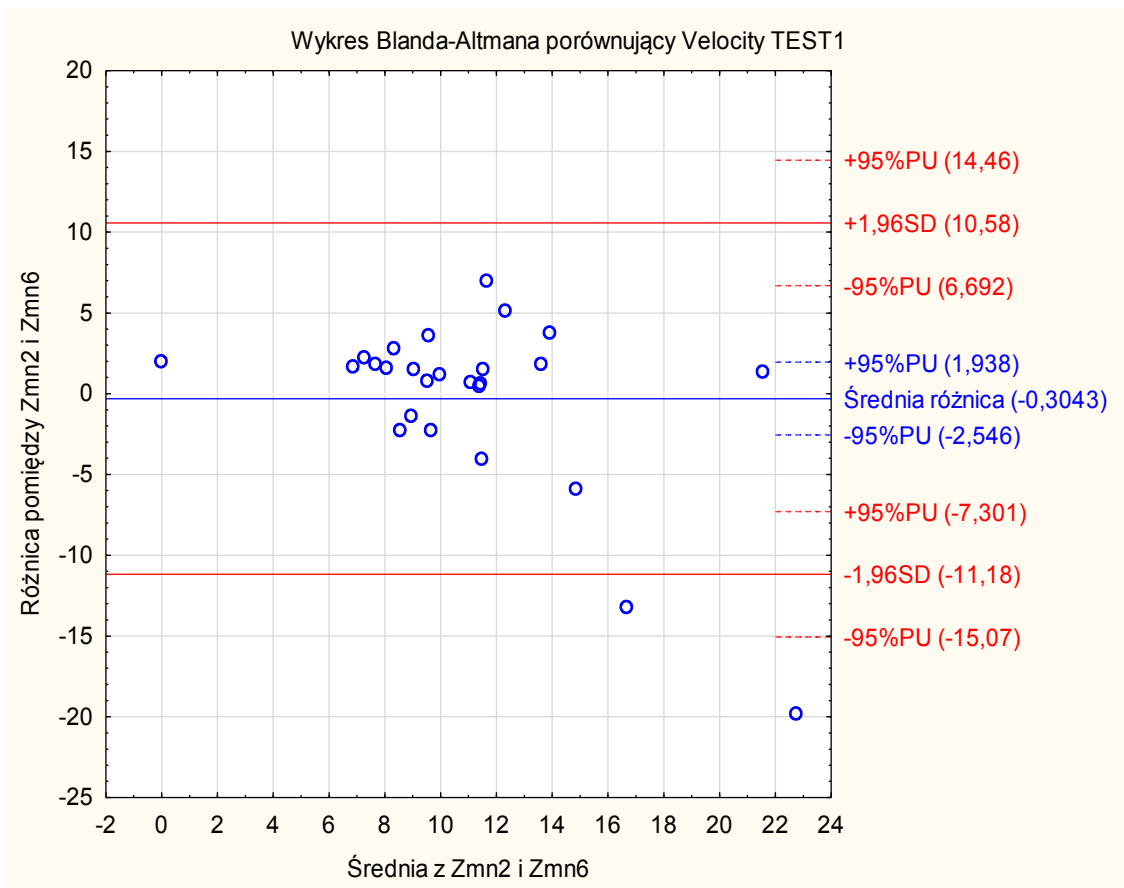
Przewodniczący Komisji


prof. zw. dr hab. med. Paweł Chęciński

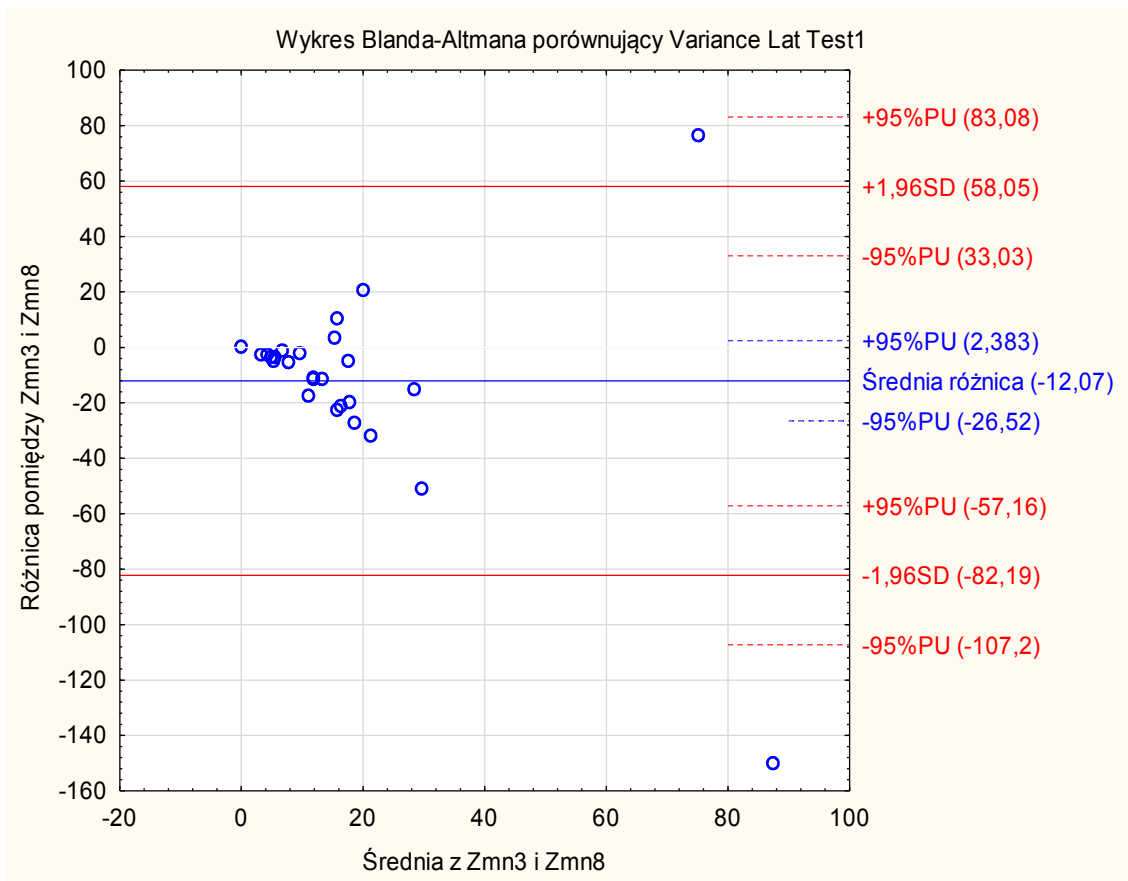
SUPLEMENT A - Szczegółowe wyniki dla poszczególnych testów



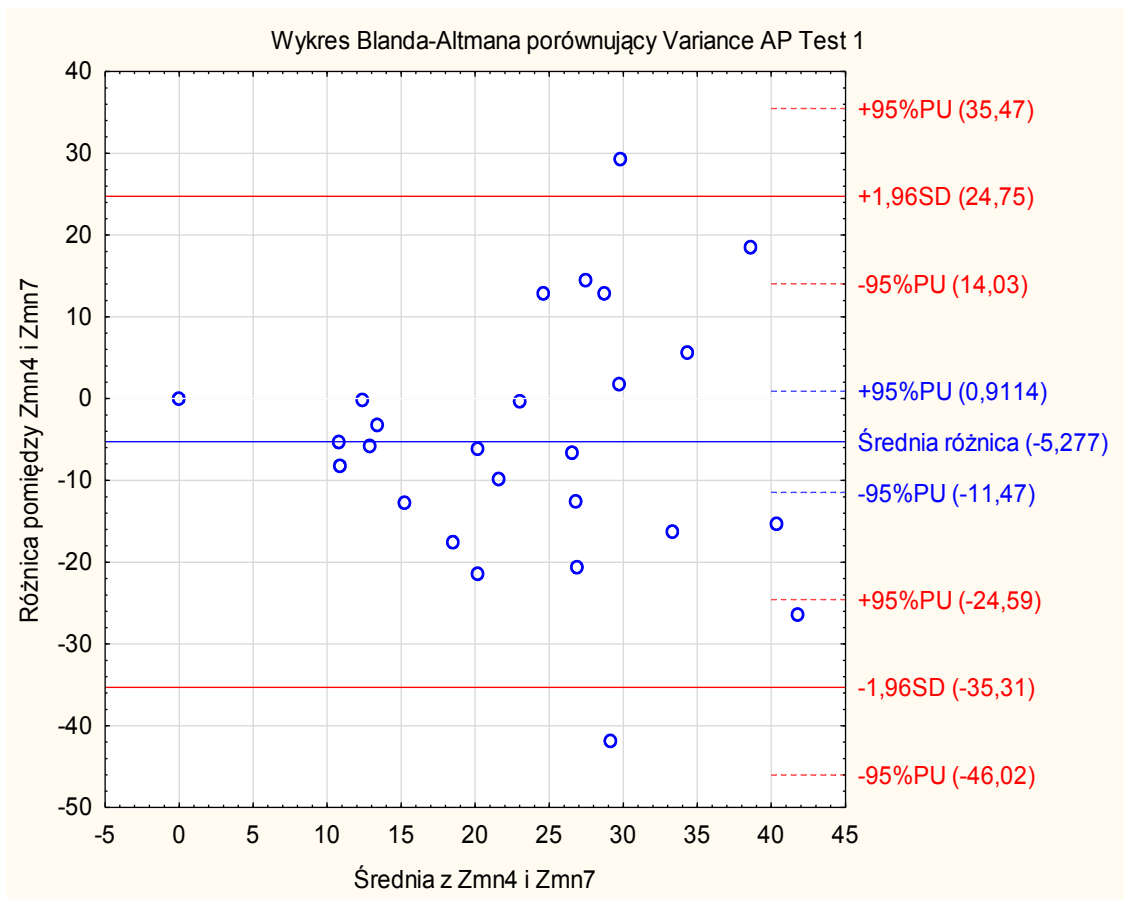
Rycina A1. Wykres Blanda-Altmana dla parametru przebytej drogi dla pierwszego testu walidującego (TEST 1 - postawa swobodna, stanie obunóż, oczy otwarte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard



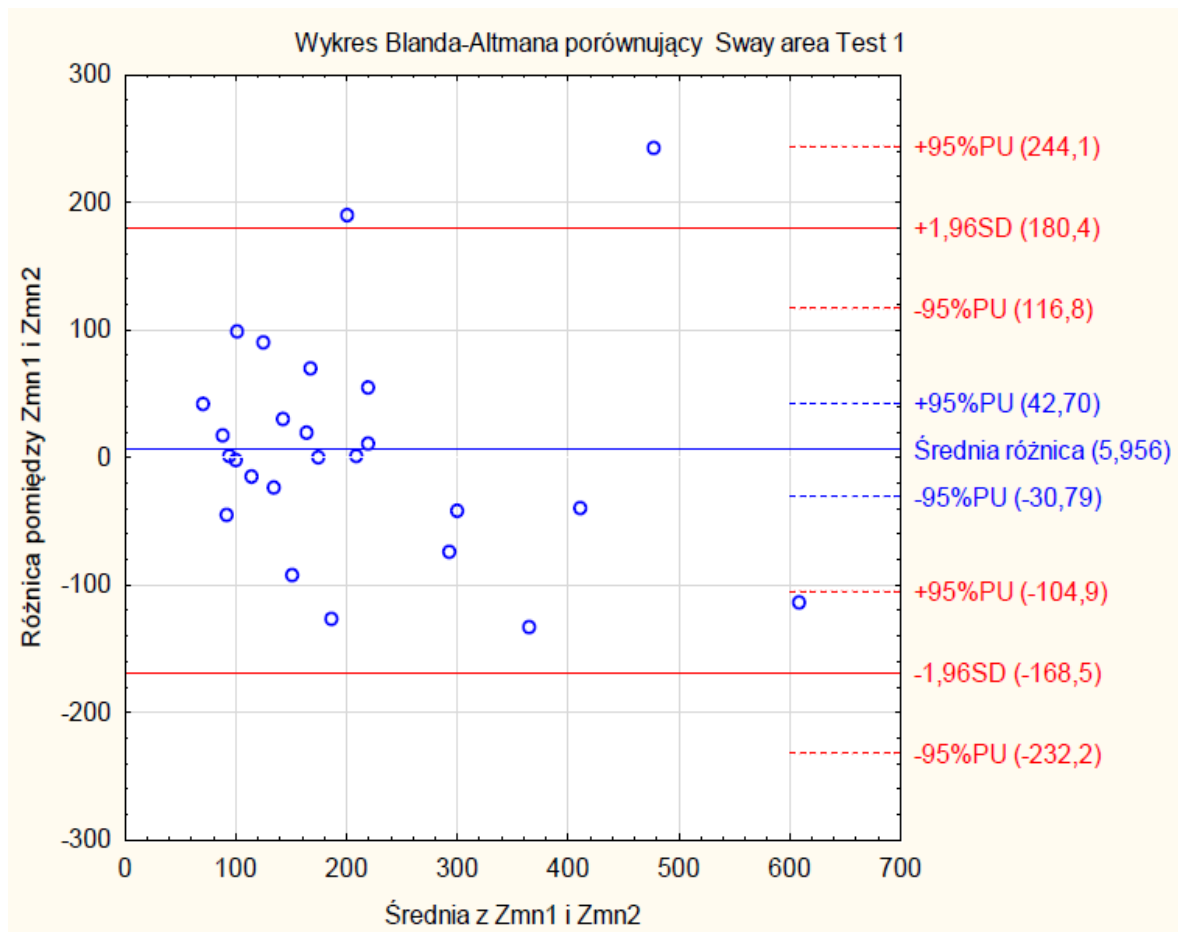
Rycina A2. Wykres Blanda-Altmana dla parametru prędkości dla pierwszego testu walidującego (TEST 1 - postawa swobodna, stanie obunóż, oczy otwarte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard



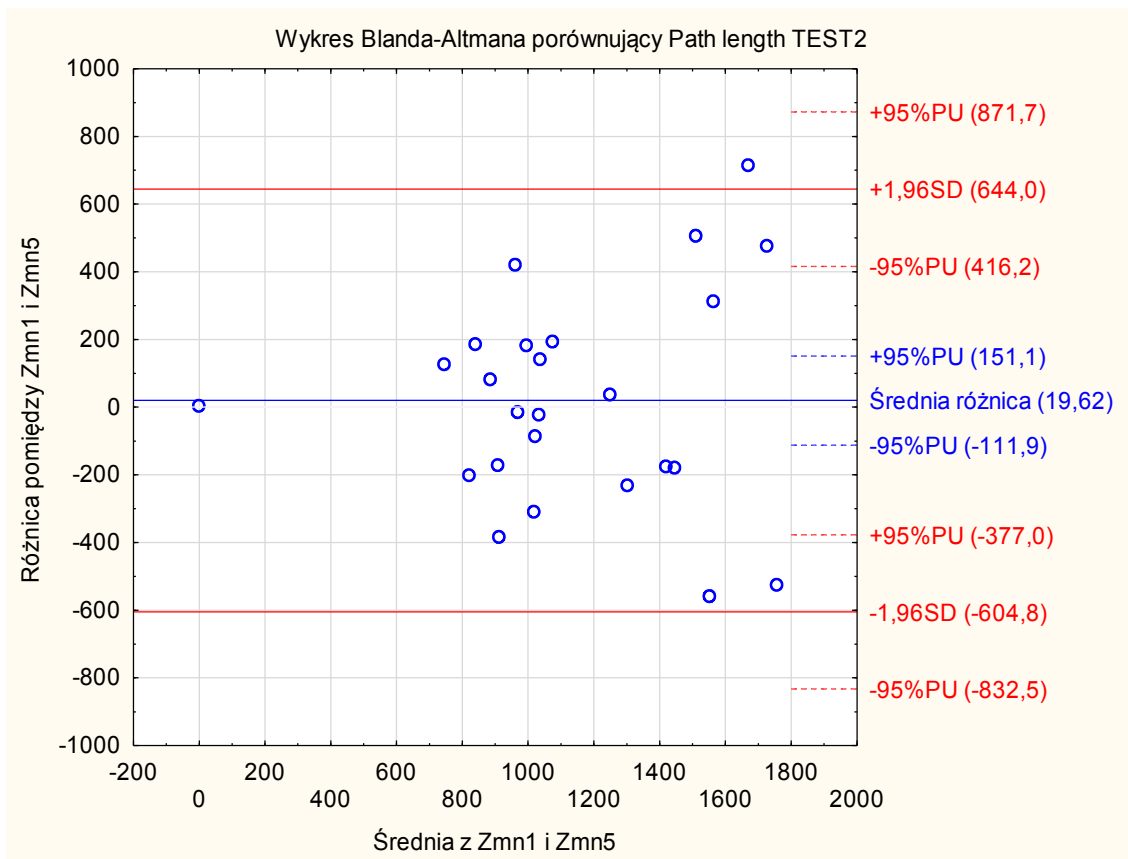
Rycina A3. Wykres Blanda-Altmana dla parametru zmienności wychyleń w osi lewo-prawo dla pierwszego testu walidującego (TEST 1 - postawa swobodna, stanie obunóż, oczy otwarte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard



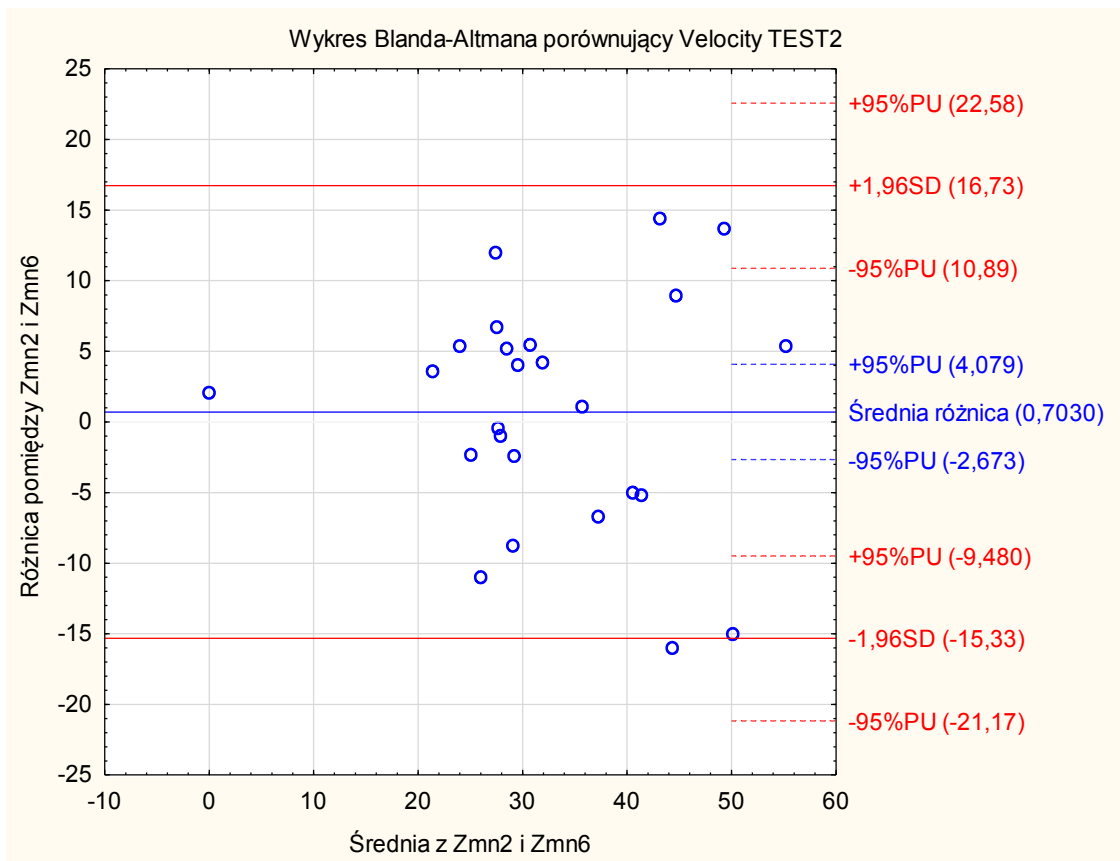
Rycina A4. Wykres Blanda-Altmana dla parametru zmienności wychyleń w osi przód-tył dla pierwszego testu walidującego (TEST 1 - postawa swobodna, stanie obunóż, oczy otwarte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard



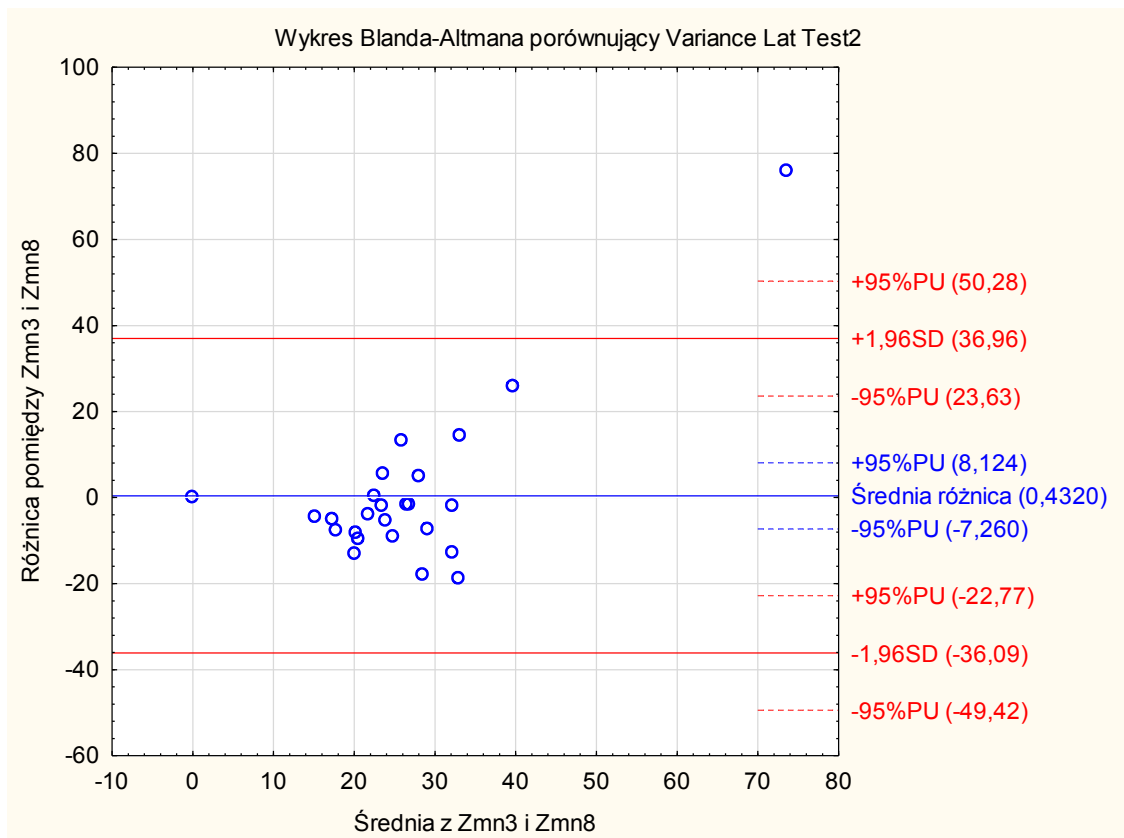
Rycina A5. Wykres Blanda-Altmana dla parametru pola powierzchni dla pierwszego testu walidującego (TEST 1 - Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy otwarte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard



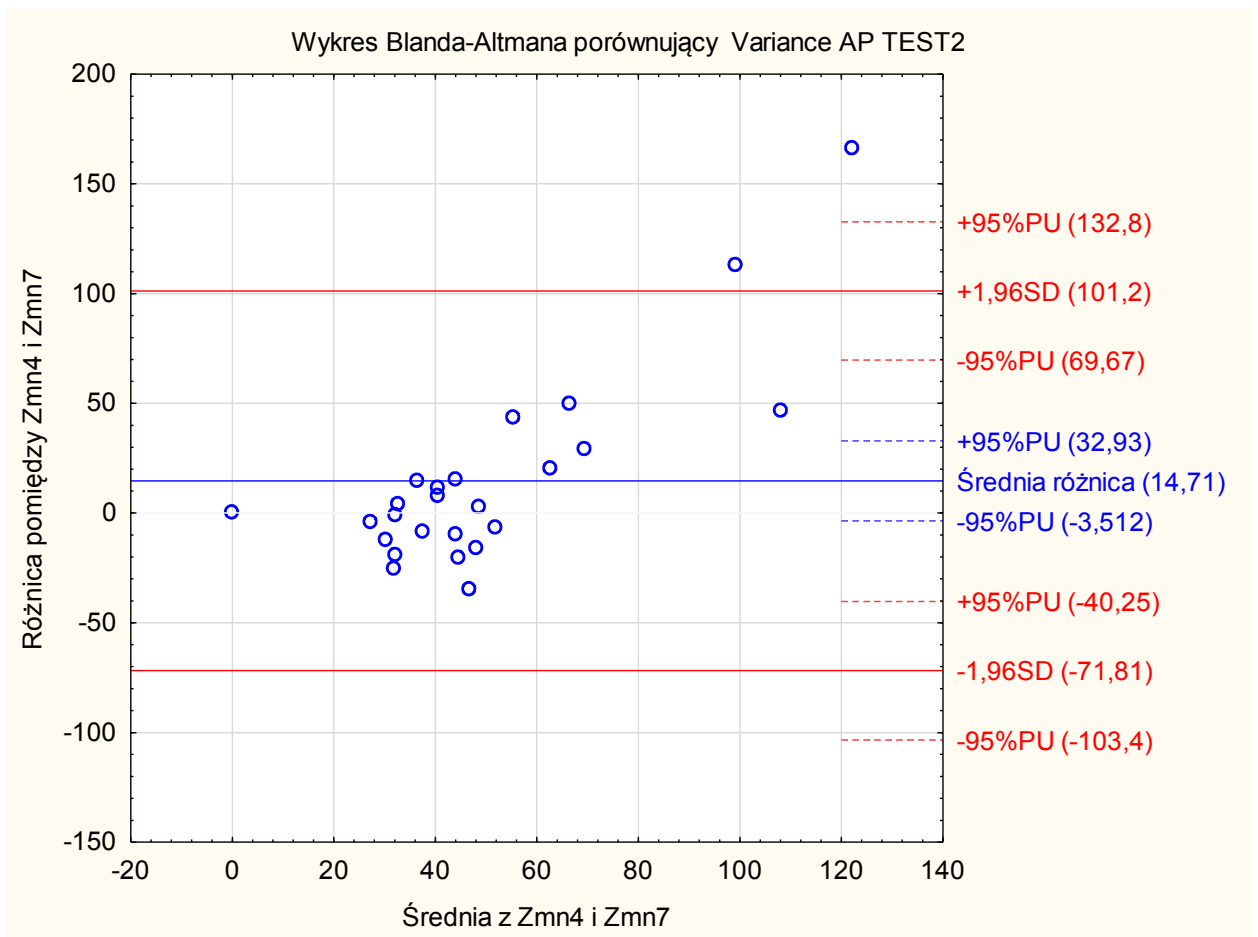
Rycina A6. Wykres Blanda-Altmana dla parametru przebytej drogi dla drugiego testu walidującego (TEST 2 - Stanie na prawej nodze, oczy otwarte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard



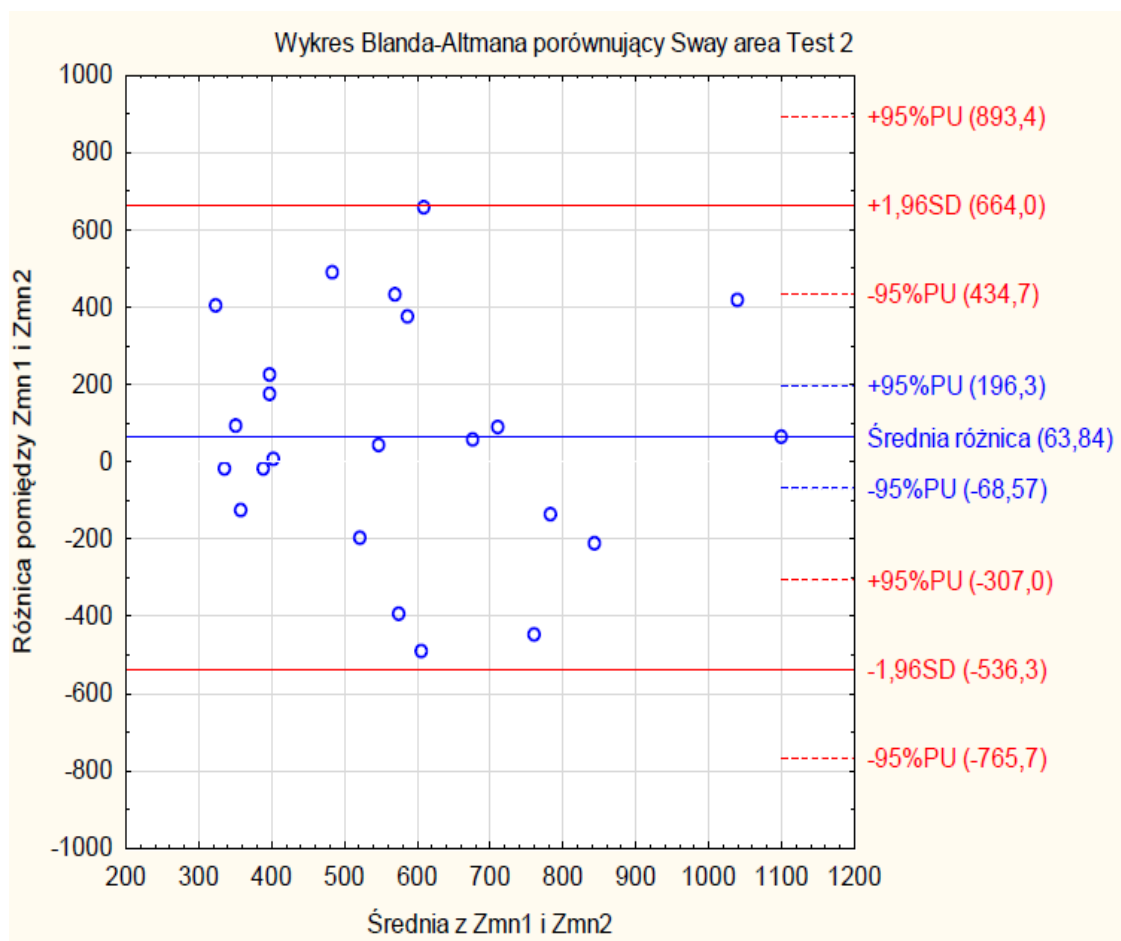
Rycina A7. Wykres Blanda-Altmana dla parametru prędkości dla drugiego testu walidującego (TEST 2 - Stanie na prawej nodze, oczy otwarte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard



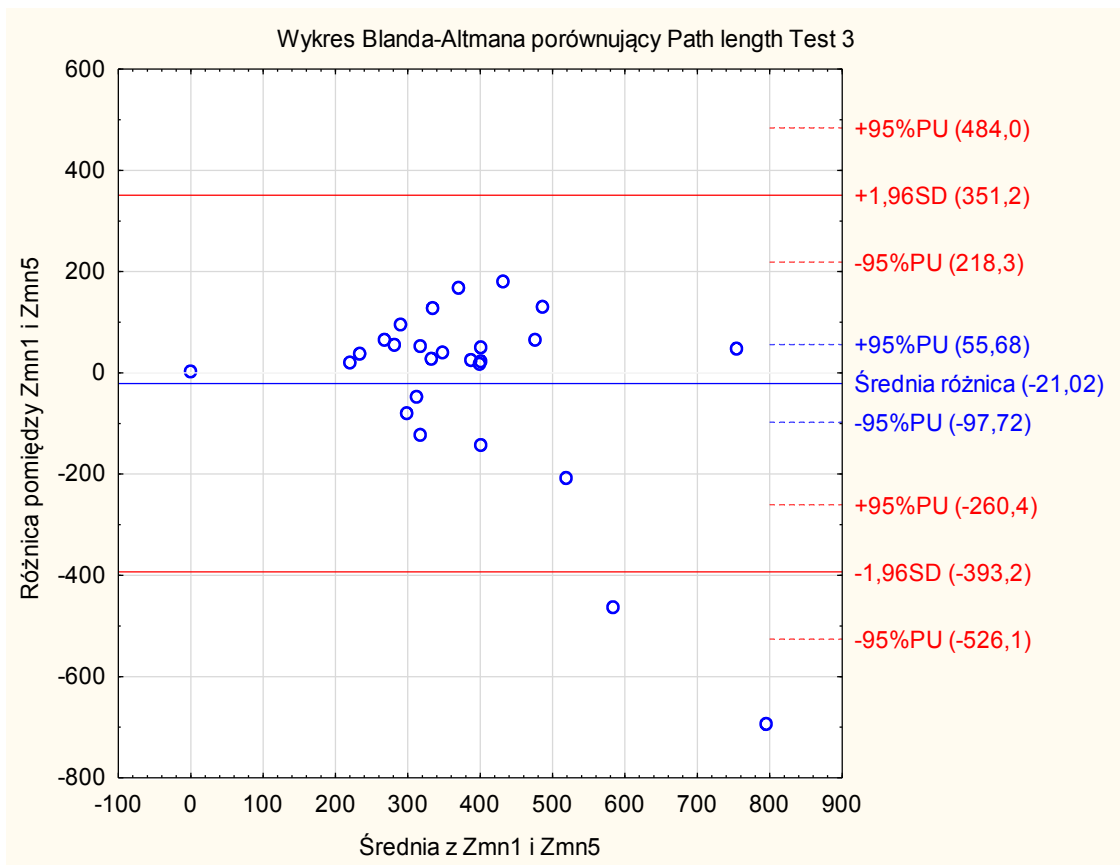
Rycina A8. Wykres Blanda-Altmana dla parametru zmienności wychyleń w osi lewo-prawo dla drugiego testu walidującego (TEST 2- Stanie na prawej nodze, oczy otwarte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard



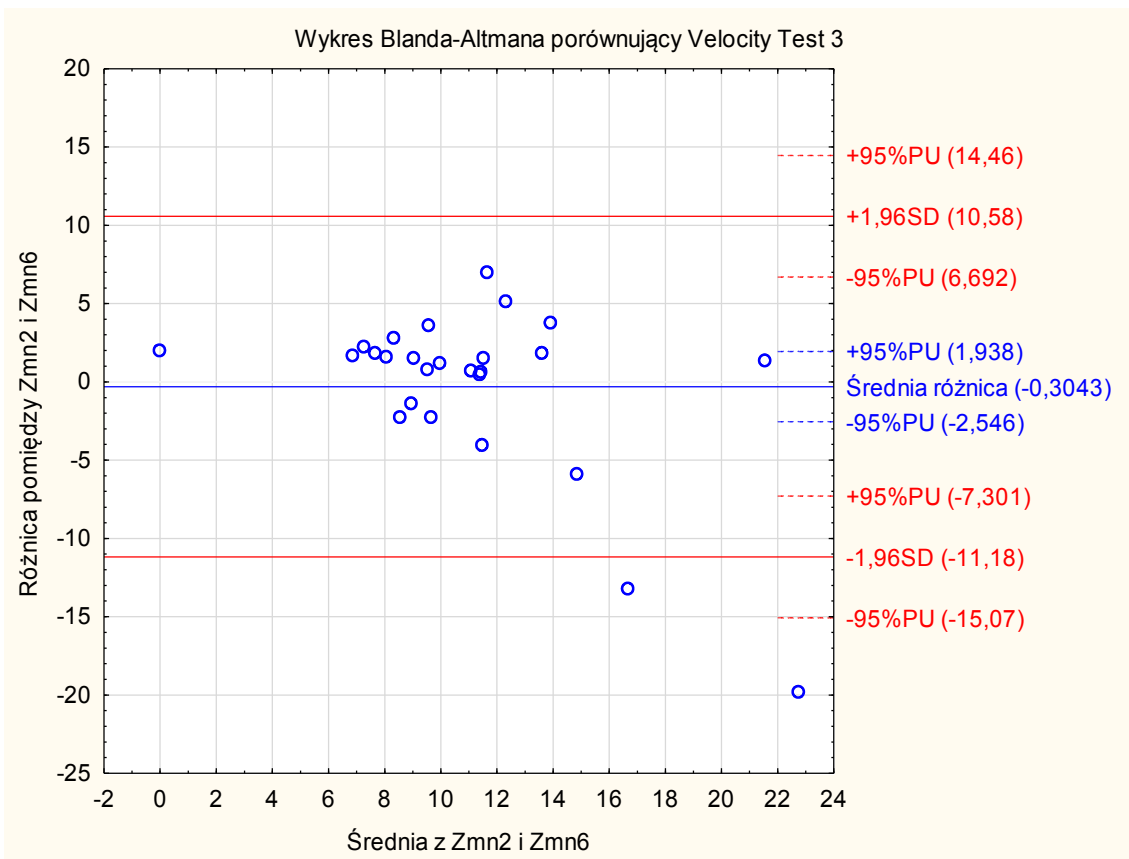
Rycina A9. Wykres Blanda-Altmana dla parametru zmienności wychyleń w osi przód-tył dla drugiego testu walidującego (TEST 2 - Stanie na prawej nodze, oczy otwarte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard



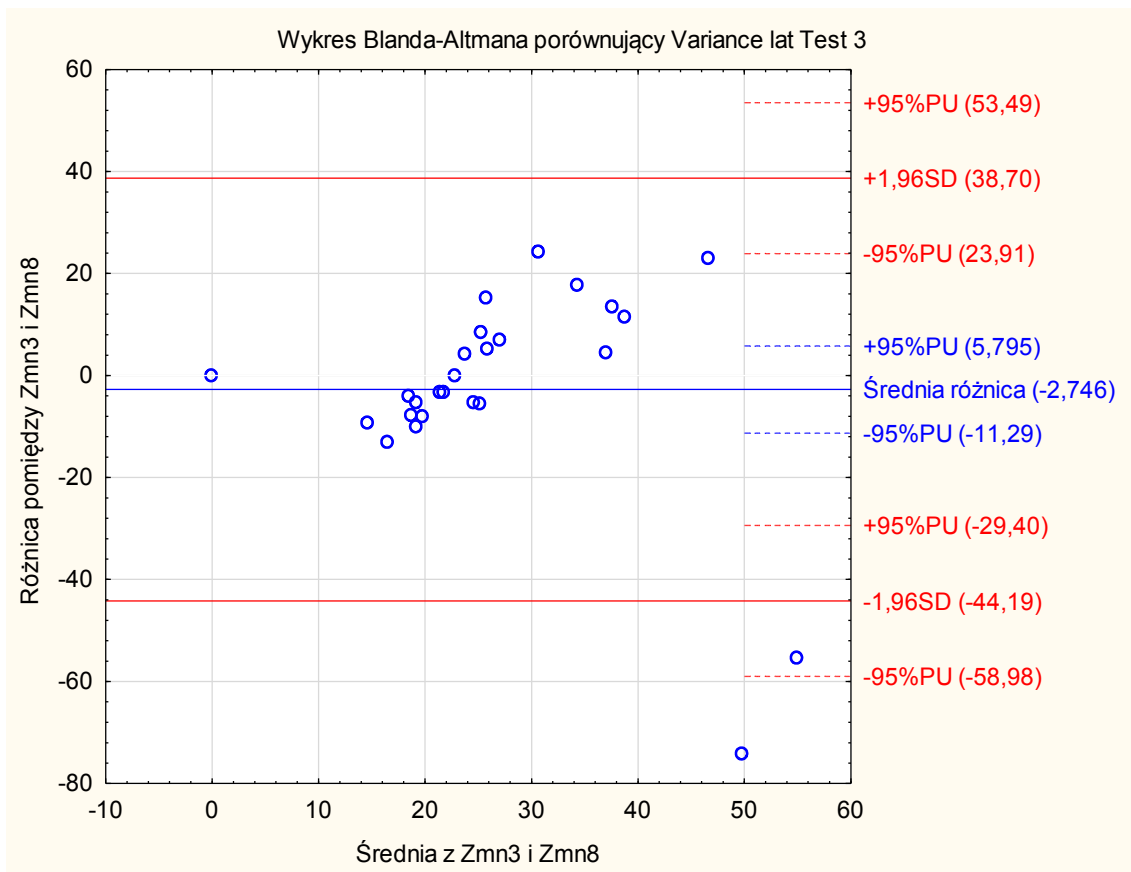
Rycina A10. Wykres Blanda-Altmana dla parametru pola powierzchni dla drugiego testu walidującego (TEST 2 - Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy zamknięte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard



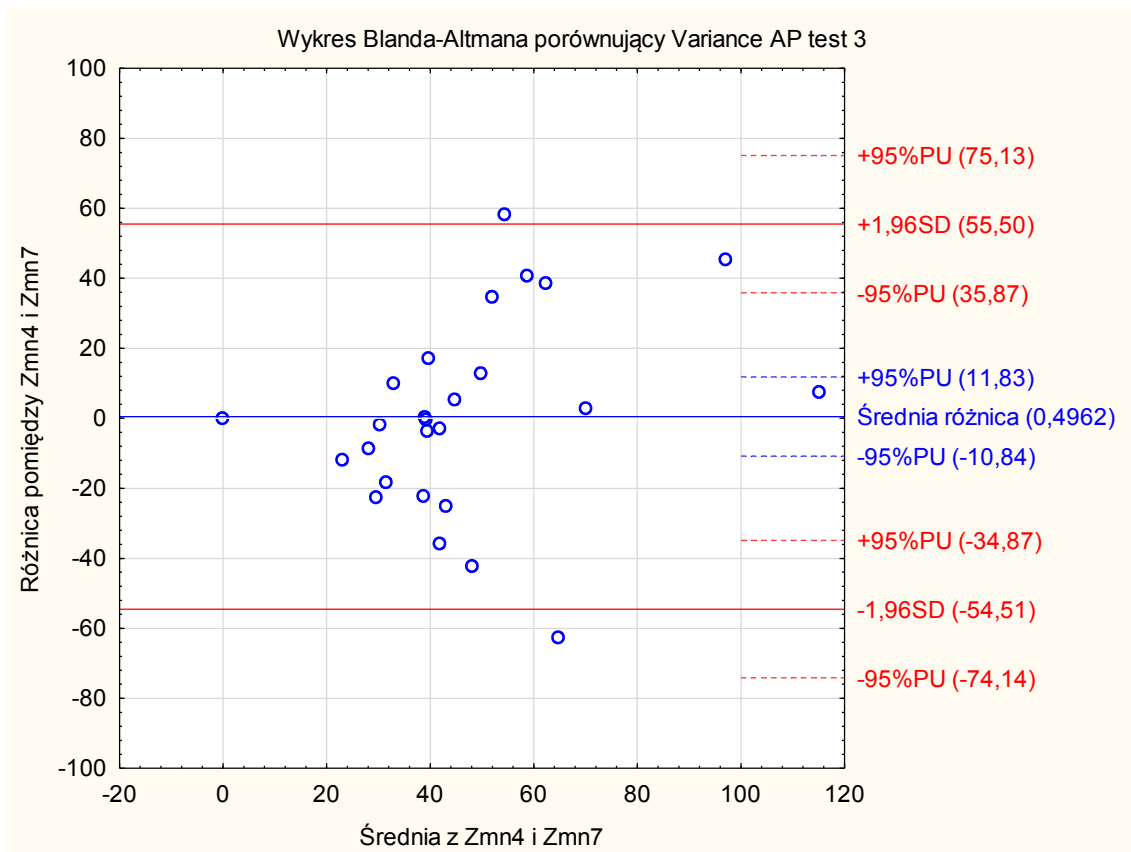
Rycina A11. Wykres Blanda-Altmana dla parametru przebytej drogi dla trzeciego testu walidującego (TEST 3 - Stanie na lewej nodze, oczy otwarte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard



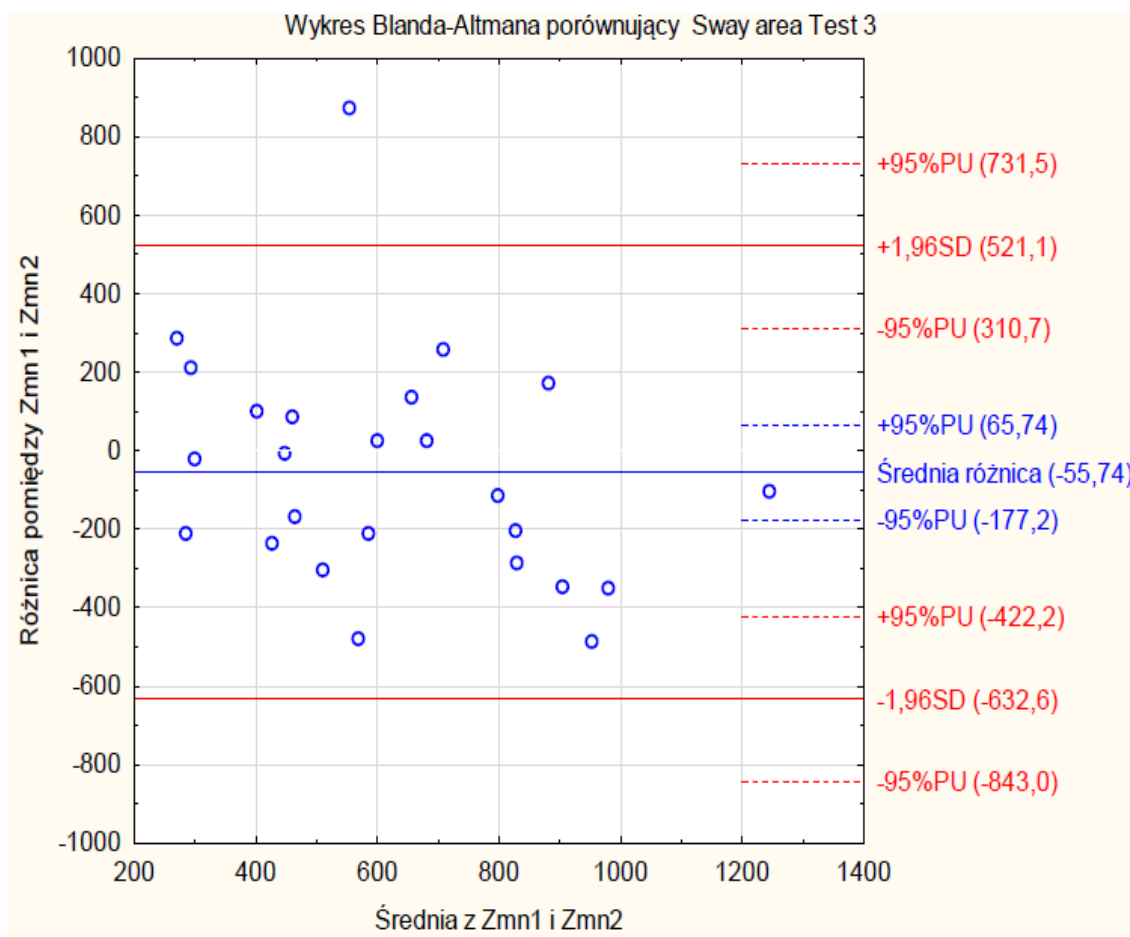
Rycina A12. Wykres Blanda-Altmana dla parametru prędkości dla trzeciego testu walidującego (TEST 3 - Stanie na lewej nodze, oczy otwarte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs standard



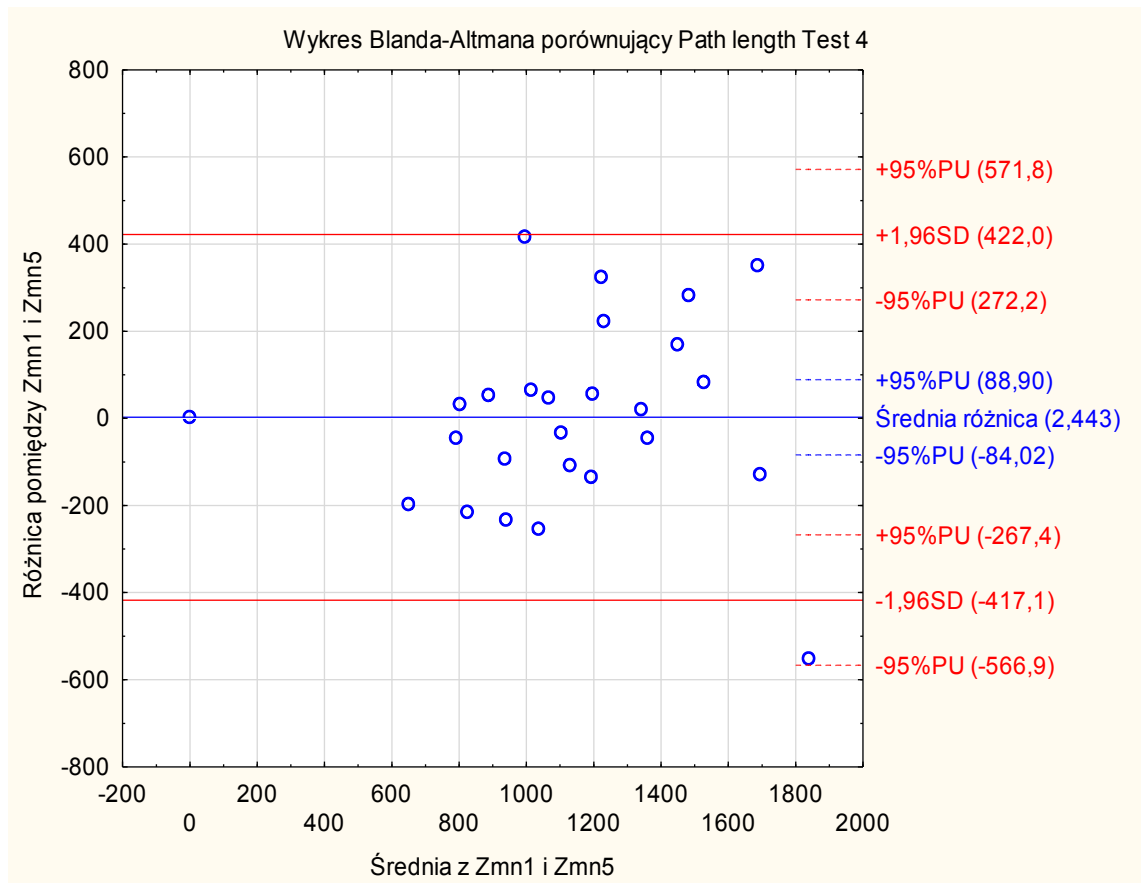
Rycina A13. Wykres Blanda-Altmana dla parametru zmienności wychyleń w osi lewo-prawo dla trzeciego testu walidującego (TEST 3 - Stanie na lewej nodze, oczy otwarte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs standard



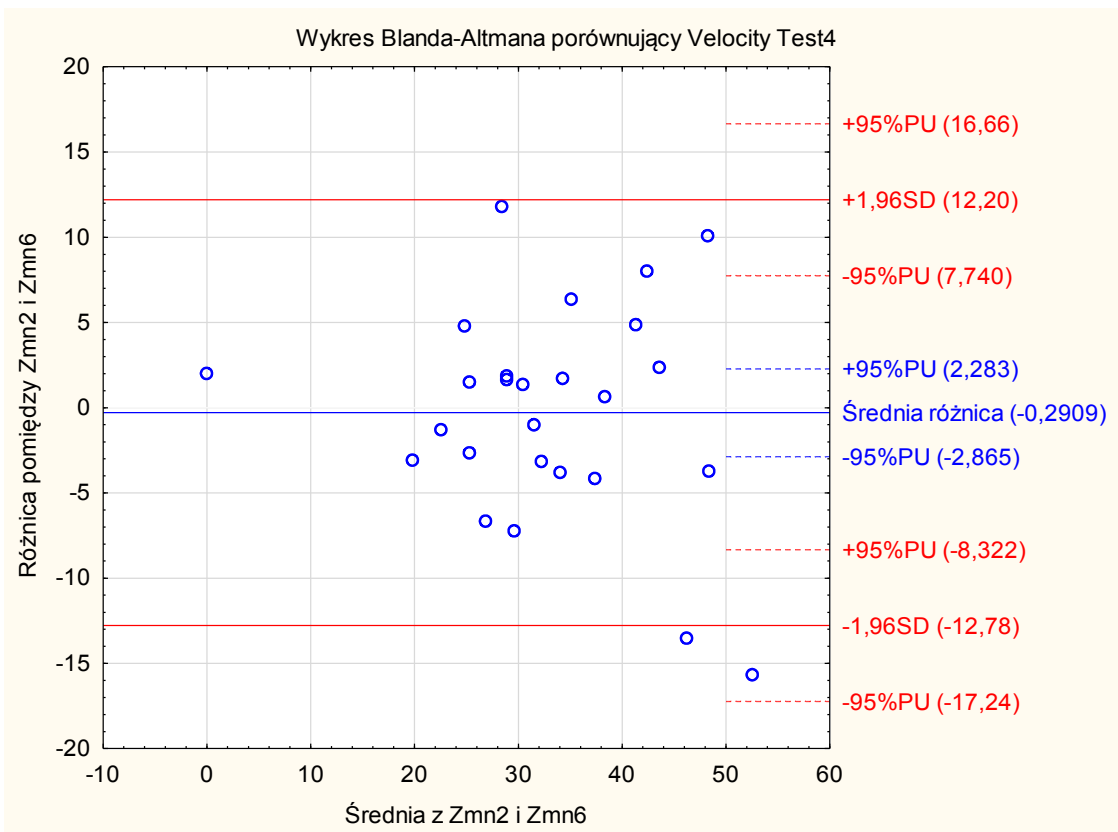
Rycina A14. Wykres Blanda-Altmana dla parametru zmienności wychyleń w osi przód-tył dla trzeciego testu walidującego (TEST 3 - Stanie na lewej nodze, oczy otwarte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard



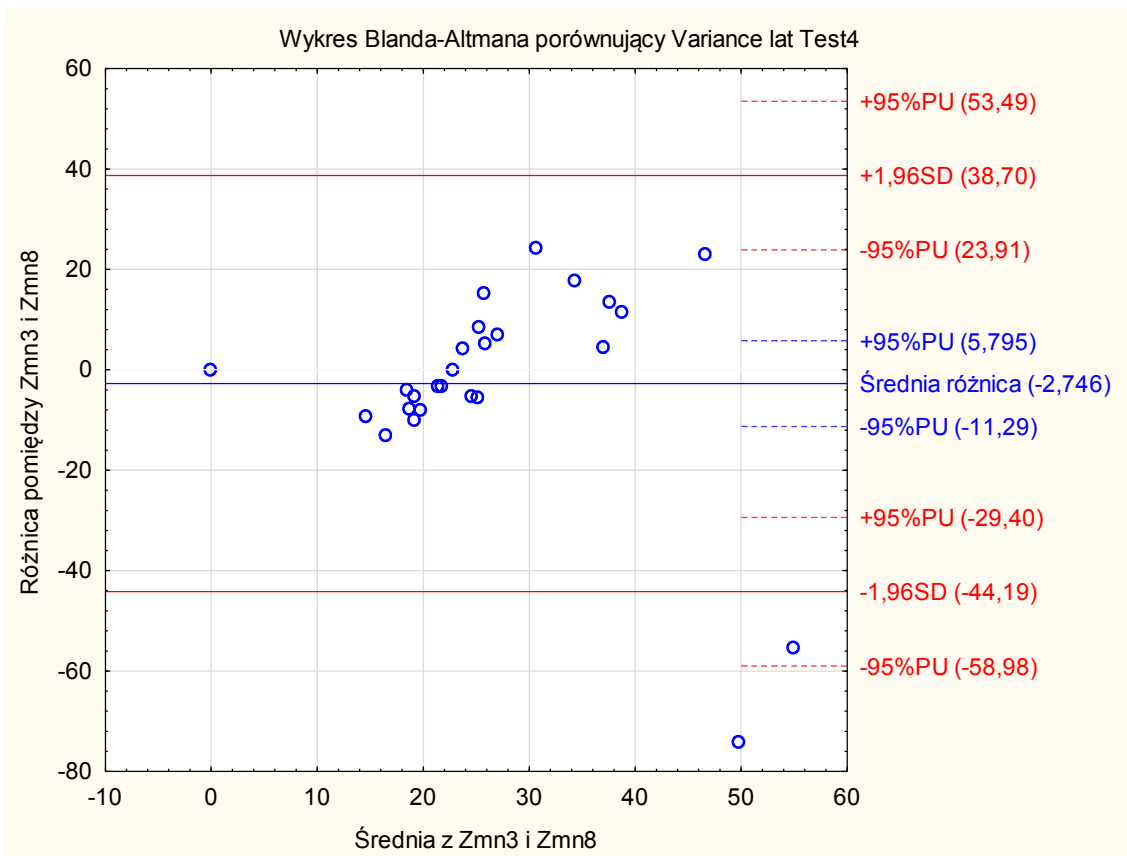
Rycina A15. Wykres Blanda-Altmana dla parametru pola powierzchni dla trzeciego testu walidującego (TEST 3 - Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy zamknięte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard



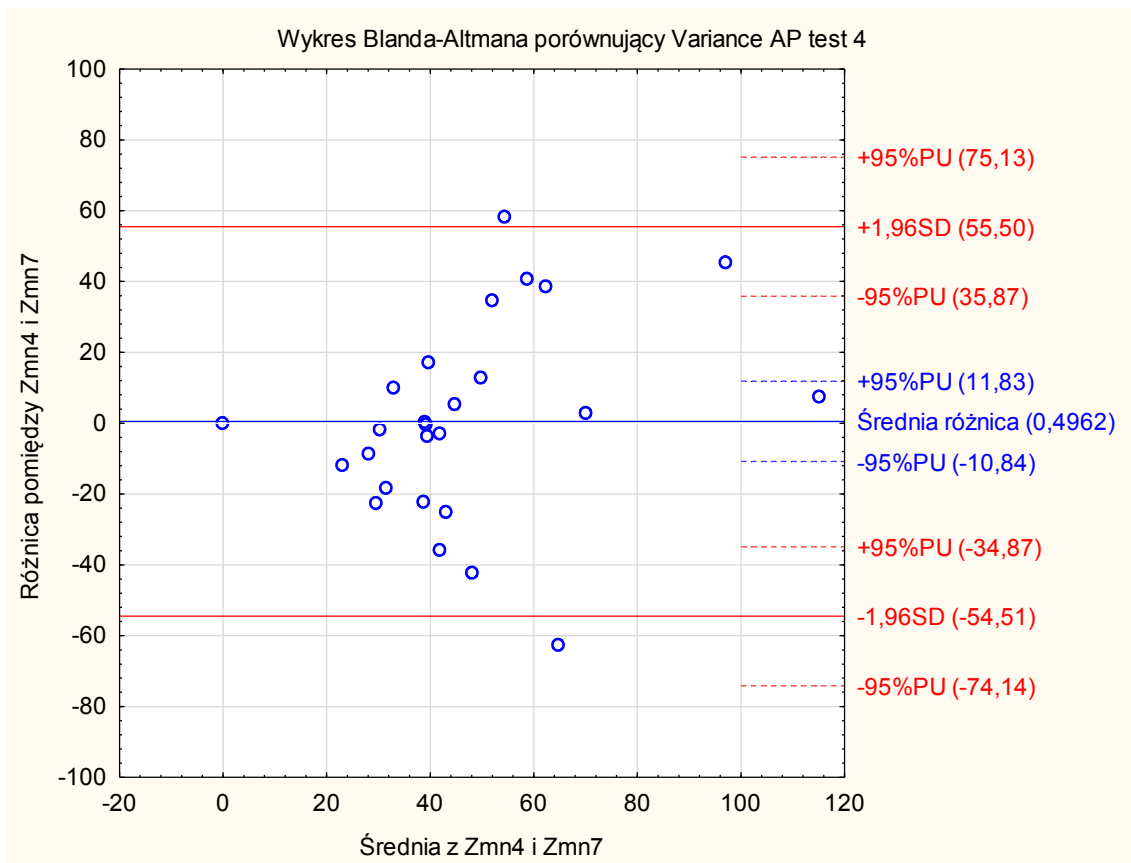
Rycina A16 Wykres Blanda-Altmana dla parametru przebytej drogi dla czwartego testu walidującego (TEST 4 - Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy zamknięte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard



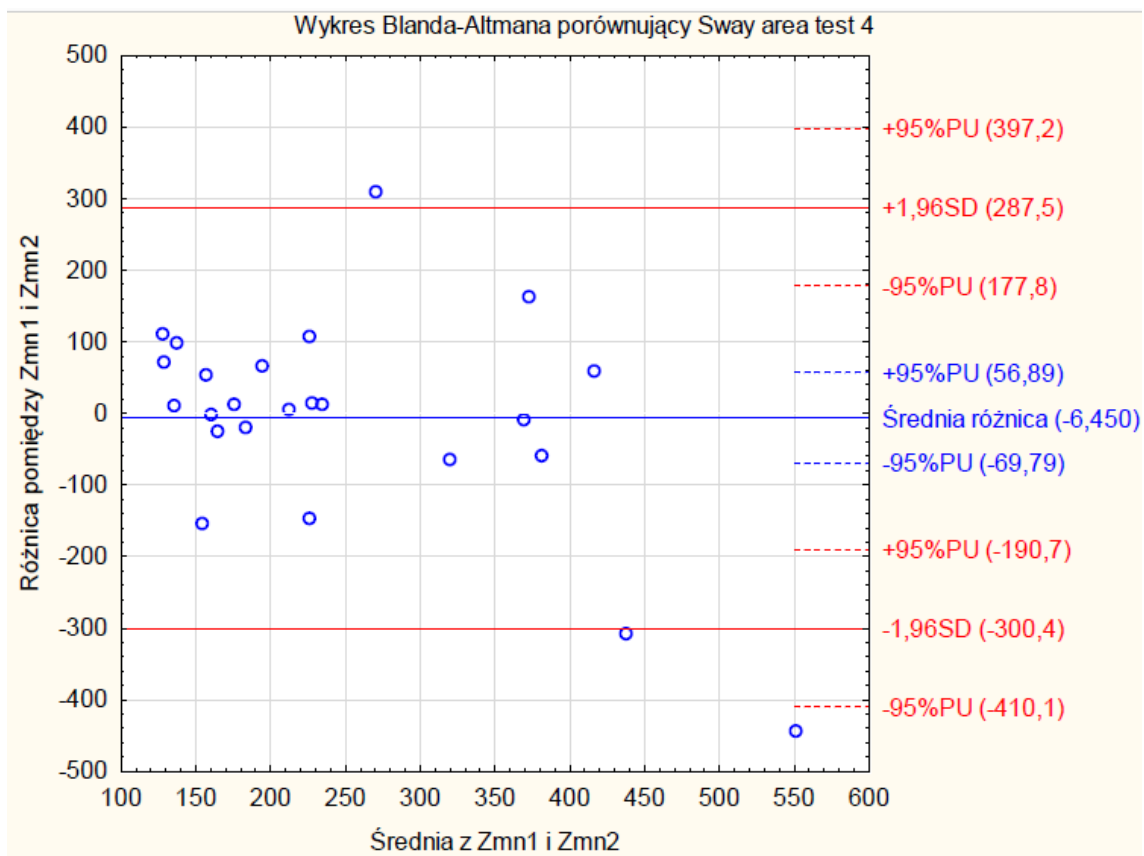
Rycina A17. Wykres Blanda-Altmana dla parametru prędkości dla czwartego testu walidującego (TEST 4 - Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy zamknięte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard



Rycina A18. Wykres Blanda-Altmana dla parametru zmienności wychyleń w osi lewo-prawo dla czwartego testu walidującego (TEST 4 - Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy zamknięte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard



Rycina A19. Wykres Blanda-Altmana dla parametru zmienności wychyleń w osi przód-tył dla czwartego testu walidującego (TEST 4 - Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy zamknięte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard



Rycina A20. Wykres Blanda-Altmana dla parametru pola powierzchni dla czwartego testu walidującego (TEST 4 - Postawa swobodna, stanie obunóż, oczy zamknięte), porównanie jednej deski Wii Balance Board vs. standard