

# Autoreferat

## 1. IMIĘ I NAZWISKO.

Dorota Krystyna Olex-Zarychta

## 2. POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE LUB ARTYSTYCZNE

1994r – dyplom magistra wychowania fizycznego, Akademia Wychowania Fizycznego w Katowicach

1995- dyplom potwierdzający biegłą znajomość języka angielskiego wydany przez University of Cambridge Local Examinations Syndicate -International Examinations

2000- dyplom ukończenia Podyplomowego Studium dydaktyki Szkoły Wyższej, Akademia Wychowania Fizycznego w Katowicach

2001r. – dyplom doktora nauk o kulturze fizycznej, Akademia Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach, na podstawie rozprawy doktorskiej pt.: „Koordynacja motoryczna osób o różnych typach lateralizacji funkcjonalnej kończyn”. Promotor: prof. dr hab. Joachim Raczek

2013r. – dyplom ukończenia studiów podyplomowych Negocjacji Kryzysowych, specjalność: negocjator służb mundurowych, Wydział Filologiczny, Uniwersytet Śląski

2015r - dyplom ukończenia studiów podyplomowych Administracji i Zarządzania, Wydział Prawa i Administracji, Uniwersytet Śląski

## 3. INFORMACJA O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH LUB ARTYSTYCZNYCH.

1.10.1994-28.02.2004 asystent w Zakładzie Metodyki WF w Katedrze Teorii i Metodyki Wychowania Fizycznego na Wydziale Wychowania Fizycznego w Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach

01.03.2004- 31.12.2018– adiunkt w Zakładzie Metodyki WF w Katedrze Teorii i Metodyki Wychowania Fizycznego na Wydziale Wychowania Fizycznego w Akademii Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach

1.10.2007-2008–adiunkt prac. nietatowy w Katedrze Pedagogiki Wczesnoszkolnej Instytutu Pedagogiki Uniwersytetu Śląskiego

1.10.2009-30.09.2013 – adiunkt w Katedrze Pedagogiki, Wydział Zarządzania Górnośląskiej Wyższej Szkoły Handlowej w Katowicach

1.10.2009-30.09.2010 – adiunkt, prac. nietatowy w Katedrze Pedagogiki Wyższej Szkole Biznesu w Dąbrowie Górniczej

01.01.2019 – obecnie: adiunkt badawczo-dydaktyczny w Katedrze Wychowania Fizycznego i Adaptowanej Aktywności Fizycznej na Wydziale Wychowania Fizycznego w Akademii Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach.

2019 r. – obecnie: członek Instytutu Nauk o Sporcie w Akademii Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach.

#### **4. OMÓWIENIE OSIĄGNIĘĆ, O KTÓRYCH MOWA W ART. 219 UST. 1 PKT. 2 USTAWY Z DNIA 20 LIPCA 2018 R. PRAWO O SZKOLNICTWIE WYŻSZYM I NAUCE (DZ. U. Z 2021 R. POZ. 478 Z PÓŹN. ZM.).**

##### **OSIĄGNIĘCIE NR1**

zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne lub artystyczne.

**Zrealizowany oryginalny projekt badawczy własny : „Koordynacja ruchowa i jej podłoże neurofizjologiczne w aspekcie lateralizacji kończyn człowieka”**

##### **GRANT N404 04531/2332MNISW**

Projekt finansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, wyłoniony w 31 konkursie projektów badawczych, zakończony

Tytuł projektu: „Koordynacja ruchowa i jej podłoże neurofizjologiczne w aspekcie lateralizacji kończyn człowieka”

Rodzaj projektu: własny

Charakter udziału: **kierownik projektu i główny wykonawca**

Pozostali członkowie zespołu badawczego: dr Grzegorz Sobota, AWF Katowice, wykonawca; dr Kajetan Słomka, AWF Katowice, wykonawca, prof. Grzegorz Juras, konsultant; prof. Janusz Błaszczyk, konsultant.

##### Omówienie osiągnięcia

Projekt badawczy własny o nr N4040 045 31/2332 przyjęty do finansowania przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego na podstawie konkursu, zrealizowany w latach 2007-2009 na podstawie umowy z Ministrem Nauki i Szkolnictwa Wyższego o nr 2332/P01/2006/31. Projekt został przyjęty przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego jako zrealizowany bez zastrzeżeń, z najwyższą oceną na podstawie oceny merytorycznej dokonanej przez ekspertów z ministerstwa oraz analizy finansowej projektu. Umowę 2332/P01/2006/31 uznano za wykonaną i rozliczoną dokumentem z dnia 05.05.2010

Byłam autorką koncepcji projektu, autorem wniosku o finansowanie, kierownikiem projektu oraz jego głównym wykonawcą. Jako kierownik projektu byłam odpowiedzialna za organizację pracy i zarządzanie zespołem naukowców, personelem technicznym i pomocniczym oraz za zarządzanie zasobami, w tym środkami technicznymi i finansowymi przeznaczonymi na realizację zadań ze środków publicznych. W ramach pracy jako kierownik projektu zajmowałam się planowaniem i organizacją zadań, sprawowałam nadzór nad terminowym i zgodnym z harmonogramem wykonywaniem prac. Kierowałam zespołem zaangażowanym w realizację poszczególnych zadań badawczych. Realizowałam osobiście sprawozdawczość merytoryczną oraz finansową projektu przed Ministrem Nauki i

Szkolnictwa Wyższego Jestem głównym autorem wszystkich publikacji będących efektami realizacji projektu.

## **ZALOŻENIA PROJEKTU**

Punktem wyjściowym tego projektu był niezaprzeczalny fakt istnienia stronnego zróżnicowania kończyn człowieka w funkcjach motorycznych, objawiającego się dominacją jednej z nich w wykonywaniu asymetrycznych czynności ruchowych. Owa dominacja funkcjonalna dotyczy zarówno kończyn górnych, jak i dolnych człowieka, z tym że w przypadku rąk jest o wiele wyraźniej zaznaczona i jest szerzej opisana w literaturze (Raczek et. al. 1998; Osiński 2003). Problem stronnego zróżnicowania ruchów pomiędzy dominującą i nie – dominującą kończyną został dostrzeżony przez naukowców ponad 100 lat temu. W 1899 roku P.S. Woodworth opublikował wyniki badań dotyczących różnic w szybkości i dokładności ruchów rąk. To właśnie ten badacz postawił fundamentalne pytania dotyczące źródeł istnienia różnic stronnych w wykonywaniu ruchów kończyn sugerując ich powiązania z systemem kontroli motorycznej. Badacze uważają, że preferowanie danej kończyny w wykonywaniu czynności ruchowych nigdy nie jest przypadkowe i dotyczy przede wszystkim ruchów precyzyjnych, wyspecjalizowanych, wymagających wysokiego stopnia koordynacji ruchowej (Peters 1991, Tan 1993; Plamondon i Alimi 1997; Elliot i Heath 1999; Francis i Spiriduso 2000; Olex 2001 i 2003; Judge i Stirling 2003; Ljach 2003; Agnew et.al. 2004). Różnice stronne jakości wykonywanych ruchów są najwyraźniejsze w zadaniach wymagających szybkości, dokładności, szybkiej reakcji i wysokiej częstotliwości ruchów, co potwierdzają liczne wyniki badań naukowych (Anett 1992; Hore et. al. 1998; Elliot i Heath 1999; Francis i Spiriduso 2000; Agnew et. al. 2004).

U podstawy procesu koordynacji ruchowej leżą neurofizjologiczne mechanizmy kontroli motorycznej ruchów dowolnych czyli organizacji informacji zbieranych z otoczenia przez system receptorów (gromadzenie, przetwarzanie i przenoszenie informacji). Aby impuls odebrany przez tele-, proprio-, kontakto- oraz wisceroreceptory mógł zostać przetworzony na odpowiednią reakcję ruchową, system sterowania i regulacji ruchami musi obejmować ośrodki decyzyjne i optymalizacyjne związane z korową reprezentacją ruchu, drogi przewodzenia impulsów w centralnym i obwodowym układzie nerwowym oraz sprawną sieć efektorów czyli układ mięśniowy ciała człowieka. Wyjaśnienia podłoża asymetrii funkcjonalnej kończyn w koordynacyjnie złożonych ruchach nie uzyskano jednak do dziś. Jest to nadal aktualny i niezmiernie interesujący w swej otwartości, interdyscyplinarny problem badawczy. Nie wiadomo, jakie czynniki związane z kontrolą motoryczną są odpowiedzialne za niezwykłą przewagę dominującej kończyny w ruchach dowolnych. Badania prowadzone nowoczesnymi metodami obrazowania mózgu –fMRI (funkcjonalny rezonans magnetyczny) i PET (pozytronowa emisyjna tomografia) wskazują na złożony charakter kontroli motorycznej, ale odrzucają hipotezę o całkowicie asymetrycznej, kontralateralnej strukturze sterowania ruchami (Gorynia i Egenter 2000, Górńska i Majczyński 2000, Springer i Deutsch 2004). Każdy ruch wymaga aktywacji ośrodków w obu półkulach mózgu, chociaż w zadaniach bimanualnych aktywacja ta jest wyraźniej zaznaczona. Na efekt działania ruchowego mają jednak wpływ również czynniki neuromięśniowe związane z procesem przewodzenia bodźców w układzie nerwowym i pobudzeniem efektorów. Najnowsze koncepcje organizacji systemu sterowania i regulacji ruchów zakładają współistnienie hierarchicznej i równoległej struktury układu ruchowego; kontrola centralna i peryferyczna ruchów w obrębie systemu wzajemnie się w nim uzupełniają (Raczek 2000,

Górska 2000). Nie wiadomo jednak, czy organizacja peryferycznej kontroli wykazuje asymetrię funkcji i od czego ona zależy. Badania dotyczące roli peryferycznych struktur i procesów w sterowaniu ruchami wykazującymi asymetrię są ciągle prowadzone i dają zachęcające do dalszych poszukiwań rezultaty. (Jaric 2000, Olex 2003,2004).

W projekcie podjęto próbę wyodrębnienia tych neurofizjologicznych determinantów stronnego zróżnicowania ruchów kończyn, które związane są z szeroko rozumianym procesem przewodzenia bodźców we włóknach aferentnych i eferentnych w centralnym i obwodowym układzie nerwowym. Procesy te mają równocześnie duże znaczenie w sterowaniu i regulacji ruchów, co jest istotą kontroli motorycznej.

Dominacja funkcjonalna jednej z kończyn zwana też specjalizacją manualną w przypadku kończyn górnych czy nożną w odniesieniu do kończyn dolnych jest w literaturze definiowana jako zdolność do integracji precyzji i szybkości celowych ruchów koordynacyjnie złożonych (Elliott i Heath 1999; Francis i Spiriduso 2000). Badania Kelso i wsp. (Kelso 2004; Jantzen, Steinberg, Kelso 2004) udowodniły, że czasowe aspekty realizacji zadania ruchowego wymagającego ustalenia tzw. rytmicznego wzorca ruchowego (Grabowska 2000) i synchronizacji ruchu i dźwięku lub sygnału wizualnego są ważnym wskaźnikiem sprawności mechanizmów w układzie sterującym ruchem warunkującym odpowiednią jakość wykonania ruchu. Stąd wynika nasze założenie, że właśnie szybkość i dokładność wykonywania ruchów, relacje pomiędzy nimi przy wykonywaniu czynności złożonych to wiarygodne odbicie sprawności procesów sterowania i regulacji ruchów. Wnikliwa analiza różnic aspektów czasowych aktywności dominującą i nie dominującą kończyną w zadaniach związanych z wysoką częstotliwością ruchów o zmiennych parametrach rytmicznych (czyli zadaniach o złożonej strukturze czasowej), jak również analiza jakości efektu końcowego ruchów przyczyni się do przybliżenia specyfiki kontroli motorycznej stronnice zróżnicowanych ruchów związanej z funkcjami C.U.N. Poszukiwanie neurofizjologicznych determinantów asymetrii funkcjonalnej ruchów równocześnie obejmować będzie badanie wpływów peryferycznego sterowania ruchami, związanego z neuromięśniowymi cechami obwodowego układu nerwowego. Analiza jakości i szybkości przewodnictwa nerwowego w wykonywaniu zadań złożonych koordynacyjnie kończyną dominującą i subdominującą oraz analiza właściwości elektrycznych mięśni wykonujących pracę pozwoli na zbadanie udziału peryferycznych struktur i procesów w sterowaniu i regulacji ruchami. Wnioski z badań stanowić będą przyczynek do wyjaśnienia neurofizjologicznego podłoża lateralizacji kończyn człowieka, a co za tym idzie przybliżenia istoty i etiologii zjawiska.

Biorąc pod uwagę lateralizację kończyn człowieka należy mieć na uwadze zmienność ontogenetyczną tego procesu. Wyróżnia się trzy podstawowe etapy kształtowania się asymetrii czynnościowej, nierozzerwalnie związane z procesem dojrzewania i inwolucji osobniczej. I –szy etap to faza kształtowania się asymetrii funkcjonalnej ciała trwająca do 6 – 8 roku życia. II –gi etap to faza stabilizacji, gdzie dominacja funkcjonalna kończyn ustala się i jest wyraźna u większości ludzi. Ten etap trwa od ok.7 roku życia do ok. 50 r.ż. III etap procesu lateralizacji funkcjonalnej to faza spadku, zanikania przejawów asymetrii w ruchach widoczna najwyraźniej w okresie starości. Porównanie zmian szybkości i dokładności ruchów u osób w różnych fazach procesu lateralizacji funkcjonalnej wraz z badaniami reakcji neurofizjologicznych odbieranymi w kończynach wykonujących zadania ruchowe będzie zatem źródłem cennych informacji o specyfice centralnej i peryferycznej kontroli motorycznej ruchów wykonywanych dominującą i nie dominującą kończyną w funkcji wieku.

Pośrednim, dodatkowym celem proponowanych badań był także opracowanie skutecznej metody diagnostycznej pozwalającej na dokładne określenie dominacji funkcjonalnej w obrębie kończyn górnych i dolnych człowieka. Cel postanowiono zrealizować poprzez opracowanie baterii testów oceny rodzaju i stopnia asymetrii czynnościowej kończyn opartych na badaniu funkcji centralnego i obwodowego układu nerwowego w spoczynku oraz w czasie wykonywania asymetrycznych, celowych czynności ruchowych. Dotychczasowy stan poznania naukowego w zakresie neurofizjologii pozwala przyjąć za pewnik wiodącą rolę struktur i funkcji centralnego układu nerwowego (C.U.N) w procesie lateralizacji ( Springer, Deutsch 2004) i w sterowaniu wszelkimi ruchami (Raczek et.al. 1998), stąd też propozycja oparcia technik diagnozy lateralizacji na procesach neurofizjologicznych.

## **PRZYGOTOWANIE BADAŃ**

Stanowiska badawcze zostały zbudowane po zakupie generatora impulsów magnetycznych, który stanowi alternatywę dla posiadanego przez naszą jednostkę stymulatora impulsów elektrycznych. Dokonano niezbędnej konfiguracji stymulatorów z urządzeniem rejestrującym. Planowane wytworzenie oprogramowania komputerowego do rejestracji i analizy wykresów elektromiograficznych danych okazało się zbędne na tym etapie projektu – udało się zaadaptować posiadany przez nas program do rejestracji i analizy obrazu EMG (program AXOTAPE , Axon Instruments, USA) do potrzeb projektu. Adaptacji dokonano bez potrzeby angażowania usług obcych, tak więc nie włączono wytworzenia oprogramowania do opisu kosztów projektu jako osobnej pozycji księgowej. Pilotażowe badania przeprowadzono na grupie 20 osób w różnym wieku. Pilotaż obejmował badanie elektromiograficzne kończyn górnych i dolnych, testy lateralizacji oraz testy psychomotoryczne. Po analizie przebiegu tych badań zdecydowano się wprowadzić niewielkie korekty w doborze wariantów testów komputerowych, szczególnie prób wykonywanych przez dzieci. Zrezygnowano też z zadania bilateralnego 2HANDS; okazało się zbyt skomplikowane dla dzieci, a wyniki niewiele wnoszące do obrazu przejawów lateralizacji funkcjonalnej. Z powodu awarii sprzętu nie dokonano też pomiarów różnicowania dynamometrem dłoniowym – sprzęt był w naprawie ponad rok, a i tak nie działa poprawnie. Już wstępnym etapie realizacji projektu pojawił się pewien problem w doborze grup badawczych (sygnalizowany we wcześniejszych raportach rocznych). Rodzice dzieci do lat 8, które stanowiły jedną z podgrup badawczych, w wielu przypadkach nie wyrazili zgody na badanie elektromiograficzne dzieci. Faktem jest, że badanie, chociaż całkowicie nieinwazyjne nie jest przyjemne, wymaga utrzymywania pozycji bez ruchu przez dłuższy czas oraz jest związane z pobudzaniem nerwu impulsem (magnetycznym lub elektrycznym), co wywoływało obawę dzieci przed badaniem i obiekcje opiekunów. Rodzice, pomimo pełnej informacji o badaniu, korzystali więc w wielu przypadkach z prawa do odmowy wyrażenia zgody na udział ich dzieci w eksperymencie, co musieliśmy uszanować. W przypadku rekrutacji ochotników do badań z grupy osób starszych problemem okazało się znalezienie zdrowych osób w wieku powyżej lat 50, które dobrowolnie poddadzą się testom psychomotorycznym i elektroneurografii, bez przeciwwskazań do badań i bez obciążeń zdrowotnych. Wiele chętnych do współpracy osób nie zostało dopuszczonych do badań ze względu na uszkodzenia aparatu ruchu, przebyte zabiegi ortopedyczne i choroby przewlekłe wymagające stałego przyjmowania leków.

Z wymienionych wyżej powodów grupa badawcza dzieci i osób starszych została znacznie ograniczona i aspekt rozwojowy oraz involucyjny badań nie jest aspektem dominującym w zestawieniu końcowym wyników. Przebadano w sumie 100 osób do lat 30, 15 dzieci w wieku 7-8 lat oraz 12 osób po 50 roku życia. Po odrzuceniu przypadków wyników skrajnie odbiegających od średniej grup, wyników błędnych i niepełnych (każdy badany musiał uczestniczyć w sumie w 3 sesjach laboratoryjnych) pełny zakres wyników badań (testy lateralizacji, antropometryczne, psychomotoryczne oraz elektroneurograficzne) uzyskano w grupie 90 osób – w tym w grupie 11 dzieci do lat 8 oraz 10 osób starszych. Wyniki te zostały poddane szczegółowym analizom.

## **CEL BADAŃ**

Celem badań było podjęcie próby wyodrębnienia tych neurofizjologicznych determinantów stronnego zróżnicowania ruchów kończyn, które związane są z szeroko rozumianym procesem przewodzenia bodźców we włóknach aferentnych i eferentnych w centralnym i obwodowym układzie nerwowym. Procesy te mają równocześnie duże znaczenie w sterowaniu i regulacji ruchów, co jest istotą kontroli motorycznej.

Dominacja funkcjonalna jednej z kończyn zwana też specjalizacją manualną w przypadku kończyn górnych czy nożną w odniesieniu do kończyn dolnych jest w literaturze definiowana jako zdolność do integracji precyzji i szybkości celowych ruchów koordynacyjnie złożonych. Obecny stan poznania naukowego pozwala przyjąć za pewnik, że czasowe aspekty realizacji zadania ruchowego wymagającego ustalenia tzw. rytmicznego wzorca ruchowego i synchronizacji ruchu i dźwięku lub sygnału wizualnego są ważnym wskaźnikiem sprawności mechanizmów w układzie sterującym ruchem warunkującym odpowiednią jakość wykonania ruchu. Stąd wynikało nasze założenie, że właśnie szybkość i dokładność wykonywania ruchów, relacje pomiędzy nimi przy wykonywaniu czynności złożonych to wiarygodne odbicie sprawności procesów sterowania i regulacji ruchów.

Wnikliwa analiza różnic aspektów czasowych aktywności dominującą i nie dominującą kończyną w zadaniach związanych z wysoką częstotliwością ruchów o zmiennych parametrach rytmicznych (czyli zadaniach o złożonej strukturze czasowej), jak również analiza jakości efektu końcowego ruchów przyczyni się do przybliżenia specyfiki kontroli motorycznej stronnice zróżnicowanych ruchów związanej z funkcjami C.U.N. Poszukiwanie neurofizjologicznych determinantów asymetrii funkcjonalnej ruchów równocześnie obejmować będzie badanie wpływów peryferycznego sterowania ruchami, związanego z neuromięśniowymi cechami obwodowego układu nerwowego. Analiza parametrów wykonywania zadań złożonych koordynacyjnie kończyną dominującą i subdominującą oraz analiza właściwości elektrycznych mięśni wykonujących pracę pozwoli na zbadanie udziału peryferycznych struktur i procesów w sterowaniu i regulacji ruchami. Wnioski z badań stanowiąc będą przyczynek do wyjaśnienia neurofizjologicznego podłoża lateralizacji kończyn człowieka, a co za tym idzie przybliżenia istoty i etiologii zjawiska.

Dodatkowe porównanie zmian szybkości i dokładności ruchów u osób w różnych fazach procesu lateralizacji funkcjonalnej wraz z badaniami reakcji neurofizjologicznych odbieranymi w kończynach wykonujących zadania ruchowe uznaliśmy za źródło cennych

informacji o specyfice centralnej i peryferycznej kontroli motorycznej ruchów wykonywanych dominującą i nie dominującą kończyną w funkcji wieku.

Dodatковым celem proponowanych badań było także opracowanie skutecznej metody diagnostycznej pozwalającej na dokładne określenie dominacji funkcjonalnej w obrębie kończyn górnych i dolnych człowieka. Cel postanowiono zrealizować poprzez opracowanie baterii testów oceny rodzaju i stopnia asymetrii czynnościowej kończyn opartych na badaniu funkcji centralnego i obwodowego układu nerwowego w spoczynku oraz w czasie wykonywania asymetrycznych, celowych czynności ruchowych.

Realizacja badań łączyła się z próbą weryfikacji empirycznej hipotezy o powiązaniach lateralizacji funkcjonalnej kończyn z mechanizmami kontroli motorycznej. Powiązania te, oparte na systemie wzajemnych sprzężeń zwrotnych informacji z efektorów i struktur na różnych poziomach systemu kontroli (kora mózgowa, ośrodki podkorowe, rdzeń kręgowy) wpływają na efekt działania ruchowego. Behawioralną egzemplifikacją zależności pomiędzy lateralizacją i mechanizmami kontroli ruchów jest dynamiczne zjawisko asymetrii ruchów człowieka. Stopień asymetrii zależy od wielu czynników. Znaczącymi czynnikami wpływającymi na obraz asymetrii ruchów są : parametry wykonywanego zadania ruchowego, prezentowany model lateralizacji kończyn oraz wiek.

## **METODY BADAŃ**

### a)Badania dominacji funkcjonalnej

Dominację funkcjonalną w obrębie kończyn górnych i dolnych ustalono u każdego z badanych za pomocą wywiadu pośredniego techniką ankietową zweryfikowanego za pomocą prostych testów ruchowych. Dodatkowo każdy badany dokonywał samooceny dominacji w obrębie swoich kończyn górnych i dolnych.

Ankieta wywiadu stanowiła wybór pytań proponowanych przez K. Mekotę (1984), H. Spionek (1975), K.A Provins'a (1993), A. Malinowskiego (1993) i Oldfielda (1971) Wyniki ankiet opracowano ustalając indywidualnie dla każdego z badanych index lateralizacji I LAT zaproponowany i zweryfikowany pod kątem rzetelności i trafności przez K. Mekotę (1984).

Pozwala on określić stopień dominacji w obrębie kończyn.

$$I\text{ LAT} = X_p / X_p + X_l$$

$X_p$  – liczba czynności wykonywanych prawą kończyną

$X_l$  – liczbaczynności wykonywanych lewą kończyną

W obliczaniu indeksu lateralizacji wszystkie czynności zaznaczone przez badanych jako wykonywane z równą częstością prawą i lewą kończyną przyjmowały wartość zerową, czyli nie były brane pod uwagę.

Dla każdego z badanych ustalono również współczynnik całkowitej funkcji kończyny prawej  $DxQ$  obliczony osobno dla kończyn górnych i dolnych, określane niekiedy w literaturze jako LQ (laterality quotient) (Oldfield, 1971);

$$DxQ = P + A/2 : N \times 100$$

P - liczba czynności wykonywanych PR

A - czynności wykonane obiema rękami

N - ogólna liczba czynności

interpretacja wyników:

DxQ 100 - 90 wyraźna PR

89 - 75 słaba PR

74 - 50 ambidekstria

49 - 25 słaba LR

24 - 0 wyraźna LR

Kwestionariusz ankietowy dla dzieci był odpowiednio zmodyfikowany i przystosowany do możliwości percepcyjnych małych dzieci (wersja uproszczona Edynburskiego Inwentarza Ręczności dla dzieci ([www.neuroscienceforkids.com](http://www.neuroscienceforkids.com)). Zawierał tylko 6 pytań i oparty był wyłącznie o czynności życia codziennego znane dzieciom lub czynności, które można bez problemu zweryfikować w czasie samego testowania dziecka. Kwestionariusz zawierał 4 pytania dotyczące kończyn górnych (którą ręką trzymasz szczoteczkę w czasie mycia zębów, ołówek lub kredkę przy rysowaniu, łyżkę przy jedzeniu, nożyczki przy wycinaniu) i jedno dotyczące kończyn dolnych (kopnięcie piłki). Kwestionariusz był wypełniany w obecności rodzica (opiekuna) dziecka, który w razie potrzeby udzielał informacji dodatkowych przeprowadzającemu badania. W pokoju badań znajdowały się też wszystkie przedmioty, użycia których dotyczyły pytania i każde dziecko mogło skorzystać z nich w razie wątpliwości. Dzieci zostały też poproszone o samoocenę dominacji w obrębie kończyn.

b) metody oceny sprawności psychomotorycznej

do oceny sprawności psychomotorycznej wykorzystano Wiedeński System Testowy (WST), opracowany przez firmę dr Schuhfried'a w Austrii, opracowany przez firmę dr Schuhfried'a w Austrii (Wiener Testsystem, Schuhfried, Austria 1993) stanowi obecnie jedną z najlepiej poznanych i najpowszechniej stosowanych w Europie baterii komputerowo wspomaganých testów diagnozujących obszerny zakres zdolności oraz neuro-psychicznych i fizjologicznych predyspozycji warunkujących możliwości ruchowe człowieka. System jest wysoce specjalistyczną aparaturą, w której procedura pomiarowa jest w pełni skomputeryzowana. Zastosowanie techniki komputerowej pozwala na ilościową i jakościową analizę określonych efektów działania oraz analizę przebiegu wykonania ruchu, a zatem wniknięcie w procesy leżące u jego podstaw. Jednocześnie, wiarygodność otrzymywanych rezultatów w pełni odpowiada wymaganiom, jakie stawia się dziś badaniom naukowym. W skład posiadanego przez nasz zespół badawczy zestawu WST wchodzi:

- jednostka sterująca (komputer PC)
- program zarządzający (MENUE) i operacyjny (RSX)
- zestaw urządzeń peryferyjnych do pomiarów poszczególnych aspektów sprawności psycho-motorycznej



- bateria testów komputerowych wraz z oprogramowaniem realizowanych przy zastosowaniu monitora, piór świetlnych oraz specjalnego panelu sterowania z zestawem pedałów

Do badań wykorzystano te testy WST, które były możliwe do przeprowadzenia osobno dla każdej z kończyn górnych i dolnych, z możliwością opracowania wyników osobno dla każdej z kończyn. Wszystkie próby były wykonywane w tym samym laboratorium, w godzinach przedpołudniowych. Kończyna dominująca była zawsze testowana jako pierwsza.

Opis wybranych do badań prób Wiedeńskiego Systemu Testowego:

### **Wiener Reaktionsgerat - RG**

zastosowanie: wieloaspektowa ocena szybkości reakcji oraz składowych- czasu reakcji i czasu pojedynczego ruchu

przebieg próby: w urządzeniu RG bodźce generowane są za pomocą dwóch lampek: żółtej i czerwonej, znajdujących się na przedniej płycie urządzenia oraz generatora dźwięku. Odpowiedzi na zaprogramowane wcześniej bodźce badany udziela za pomocą klawisza zwanego "klawiszem reakcji", położonego poniżej obu lampek. U dołu urządzenia znajduje się sensor zwany "klawiszem spoczynku". Podczas próby badany opiera palec na klawiszu spoczynku, a po zauważeniu odpowiedniego, istotnego bodźca jak najszybciej zwolnić klawisz spoczynku i nacisnąć klawisz reakcji. W teście RG zastosowano dwa bloki parametryczne: R5 – testy reakcji prostej na sygnał wzrokowy oraz R4 – test reakcji różnicowej na bodziec złożony światło + dźwięk. Każdy z testów trwał ok. 5 minut. W tym czasie badany reagował na 14 bodźców w teście reakcji prostej, a w teście reakcji różnicowej na 8 randomizowanych bodźców istotnych przy ogólnej liczbie 32 bodźców.

wynik próby: czasy poszczególnych reakcji i obliczone z nich wartości w trzech przedziałach czasowych oceny wyników( czasu decyzji, czasu motorycznego i czasu reakcji jako połączenia dwóch ww składowych) ,ilość prawidłowych reakcji, ilość nieprawidłowych decyzji

zmienne określane w czasie testowania:

mediana czasu reakcji (mCR): odstęp czasowy pomiędzy początkiem danego bodźca i naciśnięciem na górny klawisz, obliczana w ms

mediana czasu decyzji (m CD): odstęp czasu pomiędzy początkiem danego bodźca i zwolnieniem dolnego klawisza, obliczany w ms

mediana czasu motorycznego (mCM): odstęp czasowy pomiędzy zwolnieniem dolnego klawisza i naciśnięciem na klawisz górny, obliczany w ms

ze względu na asymetryczny podział trzech przedziałów czasowych oceny wyników dokonuje się w oparciu o mediany, a nie uśrednione wartości uzyskanych czasów (Clauss, Ebner, 1985). Mediana to wartość z szeregu rang, która leży dokładnie w środku tego szeregu, a więc rozdziela górnych 50% wartości od dolnych 50 % wartości. Jeśli w szeregu znajduje się nieparzysta liczba wartości, medianą jest dokładnie wartość środkowa; dla parzystej liczby wartości w szeregu – mediana jest równa średniej arytmetycznej dwóch wartości znajdujących się dokładnie w środku szeregu. Ww mediany zostały obliczone wyłącznie dla reakcji prawidłowych i pełnych

odchylenie ćwiartkowe czasu reakcji (m O CR): obliczane w ms

odchylenie ćwiartkowe czasu decyzji (m O CD): obliczane w ms

odchylenie ćwiartkowe czasu motorycznego (m O CM) obliczane w ms

Odchylenie ćwiartkowe jest miarą rozproszenia mediany, jest więc zmienną przydatną do opisu rozkładu poszczególnych czasów. Odchylenie to jest dowolnym przedziałem osi cech, ograniczonym przez dolną (Q 25) i górną (Q 75) ćwiartkę. Oznacza to, że w dolnej ćwiartce leży 25% wartości pomiarowych, i analogicznie, w górnej leży 75% wartości pomiarowych. Porównanie miar rozproszenia pomimo heterogennych wartości centralnych, jest możliwe w oparciu o współczynniki zmienności - zdefiniowane przez procentowy stosunek rozproszenia do odpowiednich wartości centralnych (Claus , Ebner ,1985). W związku z powyższym dokonano obliczeń odchyłeń ćwiartkowych czasów: reakcji, decyzji i motorycznego. Dzięki temu odchylenia ćwiartkowe poszczególnych czasów są porównywalne dla silnie zróżnicowanych median.

### **- Wiener Determinationsgerait -DG**

zastosowanie: kompleksowe określenie reakcji, ocena sprawności podejmowania decyzji

przebieg próby: urządzenie generuje 10 bodźców optycznych w 5 różnych kolorach. Poszczególnym kolorom lampek przyporządkowanych jest 5 odpowiednich klawiszy reakcji. Dwa prostokątne klawisze są przyporządkowane dwóm bodźcom akustycznym. Zadaniem badanego jest reagowanie na poszczególne bodźce naciśnięciem odpowiedniego klawisza (w odpowiednim kolorze lub kształcie). W badaniach wykorzystano blok parametryczny s4 testu, trwający 2 min w 4 blokach po 30 sekund, w czasie którego następowała prezentacja ok 40 bodźców

wynik próby: ocena reakcji na podstawie obliczenia zmiennych (całkowita ilość reakcji, ilość reakcji prawidłowych w czasie i opóźnionych, średnia szybkość reakcji, odchylenie szybkości reakcji, poziom szybkości)

zmienne określane w czasie testowania

-średni czas reakcji (od zadziałania bodźca świetlnego do naciśnięcia właściwego klawisza) (DG sTR)

- średnie odchylenie czasu reakcji (DG sOTR)

### **- Motorische Leistungsserie -MLS**

zastosowanie: ocena poszczególnych zdolności koordynacyjnych (różnicowanie ruchów, sprzężenie, dostosowanie) w zakresie małej motoryki. Urządzenie do testowania sprawności motorycznej bada więc zdolności tzw. motoryki precyzyjnej (Hamster 1980)

przebieg próby: na płycie mosiężno- aluminiowej rozmieszczone są otwory, rowki, powierzchnie kontaktowe oraz pióra (rylce). Umożliwia to przeprowadzenie różnych prób koordynacyjnych dla obu rąk.

W badaniach zastosowano następujące podtesty:

śledzenie liniowe - próba polega na precyzyjnym prowadzeniu rylca wzdłuż rowka (rys)

zmienne określane podczas testowania:

śledzenie liniowe BŁ: całkowita liczba błędów, za błąd traktowane jest każde zetknięcie ryłka ze ściankami rowka

śledzenie liniowe CB: całkowity czas błędów

śledzenie liniowe CT: czas pomiędzy dotknięciem pola początkowego i pola końcowego rowka

celowanie: jak najszybsze dotyknięcie ryłcem 20 sensorów znajdujących się w rzędzie bez dotykania płyty roboczej

zmienne określane podczas testowania:

celowanie BŁ: całkowita ilość błędów, jako błąd traktowane jest każde zetknięcie ryłka z płytą roboczą.

Celowanie CB : całkowity czas błędów

Celowanie TR : całkowita ilość trafień, trafieniem jest każde dotknięcie kółka. Maksymalna liczba trafień wynosi 20.

Celowanie CT : czas trwania badania od chwili dotknięcia ryłcem pola startowego do chwili osiągnięcia pola końcowego

wystukiwanie - jak najszybsze uderzenie ryłcem trzymany pionowo w płaszczyznę kwadratu o boku 40 mm w czasie 32 sekund

zmienne określane podczas testowania

wystukiwanie TR : całkowita liczba dotknięć sensorem kwadratowej powierzchni w obu połówkach testu (16 + 16 sek)

### **- Tapping - TAP**

zastosowanie: ocena poczucia rytmu ruchów poprzez określenie z jaką dokładnością wymagany rytm został przyjęty oraz zrealizowany, ocena dokładności utrzymania rytmu w czasie testu.

przebieg próby dla kończyn górnych i dolnych: zadaniem badanego jest adaptacja rytmu uderzeń w klawisz (kończyny górne) lub pedał (kończyny dolne) do zadanej sekwencji dźwięków. Uzyskany rytm uderzeń powinien być potem zachowany po ustaniu fazy wspomaganej dźwiękiem przez okres jednej minuty.

wyniki próby: uzyskanie zmiennych ( ilość uderzeń w fazie wspomaganej dźwiękiem, różnica czasowa między uderzeniem a dźwiękiem, średnia różnica między uderzeniami i jej odchylenie standardowe, tendencja do przyspieszania /zwalniania rytmu w fazie swobodnej testu – im bliżej 100% tym lepiej)

zmienne określane podczas testowania:

- wartość bezwzględna błędu (różnicy między sygnałem a reakcją) w fazie swobodnej testu wykonywanego kończynami górnymi i dolnymi unilateralnie (WSRD, WSRND, WSND, WSNND)

- odchylenie standardowe czasu pomiędzy uderzeniami w fazie swobodnej testu (OSRD, OSRN, OSND, OSNND)
- tendencja (przyspieszanie –zwalnianie) w teście poczucia rytmu wykonywanego unilateralnie kończynami górnymi i dolnymi (TEN RD, TEN RND, TEN ND, TEN NND)

W przypadku dzieci zrezygnowano z próby rytmizacji ze względu na problemy małych dzieci z percepcją słuchową i dostosowaniem rytmu uderzeń w klawisz z rytmem zadany. W większości przypadków faza swobodna testu nie została osiągnięta i komputer przerywał test. Niepowodzenie dzieci powodowało brak koncentracji i nerwowe naciskanie klawisza przy kolejnych próbach testu. Test ten wymaga pewnej dojrzałości od uczestników badania; koncentracji przez dłuższy czas. Dzieci 6 – 7 letnie nie były w większości przypadków zdolne do utrzymania niezbędnej uwagi na zadaniu.

### **-manipulandum FRITZ**

zastosowanie: ocena kontrolowanego wzrokowo wykonanie prostego ruchu zginania i prostowania w stawie łokciowym

przebieg próby: badany ma przedramię unieruchomione w manipulandum tj metalowym ramieniu wspartym na łożyskach i pozwalającym na kontrolowany ruch w stawie łokciowym. Ruch manipulandum i jego parametry (szybkość, opór dźwigni) jest rejestrowany za pomocą komputera. Sygnał położenia manipulandum steruje też położeniem markera pokazywanego na monitorze osobie badanej pozwalając na kontrolę wzrokową wykonywanego ruchu. W badaniach wykorzystane zostały 2 podtesty: prowadzenie kursora do celu w ruchu zginania oraz prowadzenie kursora w ruchu prostowania ramienia. Próba wykonywana jest najpierw dla ręki dominującej, potem dla nie dominującej.

Wynik próby: Wynik dla każdej ręki stanowiła średnia z 3 kolejno następujących po sobie pomiarów w liczbie punktów pomiarowych na trasie oraz czasu ruchu przedramienia w manipulandum(ms) .

#### zmienne określone podczas testowania

- liczba punktów pomiarowych na trasie od punktu startowego do punktu docelowego w próbach przywodzenia i odwodzenia ( Lpp , LPL, LOP, LOL)
- czas ruchu prostego w próbach przywodzenia i odwodzenia (PCZA P, PCZAL,O CZA P, OCZAL)

W przypadku dzieci zrezygnowano z próby ze względu na niedostosowanie rozmiarów manipulandum do wzrostu i długości kończyn dzieci, co wyraźnie zaburzało wyniki testu.

#### c) metody badań reakcji neurofizjologicznych

Badania obejmowały rejestrację sygnałów bioelektrycznych odbieranych w wybranych mięśniach kończyn górnych i dolnych wywołanych sztucznym drażnieniem nerwu bodźcem elektrycznym. Badanie kończyn górnych obejmowało bezpośrednią reakcję motoryczną mięśnia prostownika nadgarstka łokciowego prawej i lewej kończyny. Badanie kończyn dolnych, obejmowało zarówno bezpośrednią reakcję motoryczną jak i zapis odruchu Hoffmanna w kończynie dominującej jak i nie dominującej. Analiza reakcji odruchowej

pozwoili na ocenę szybkości przewodnictwa zarówno ruchowego, jak i czuciowego w kończynach dolnych, co stanowiło znakomite uzupełnienie badań mechanizmów kontroli motorycznej w aspekcie lateralizacji kończyn

Bezpośrednia reakcja motoryczna (fala M) mięśnia prawej i lewej kończyny górnej w grupie badanych została zarejestrowana u każdego z badanych w czasie jednej sesji laboratoryjnej w celu zapewnienia tych samych warunków przeprowadzenia eksperymentu dla kończyny dominującej i nie dominującej. Badania zostały wykonane w tym samym pomieszczeniu zapewniającym stałą temperaturę powietrza ok. 22°C i w tej samej porze dnia (pomiędzy 10 a 12 rano) w celu zapewnienia wszystkim badanym podobnych warunków otoczenia w czasie wykonania badania. Do odbioru reakcji neurofizjologicznych mięśni prawej i lewej kończyny górnej zastosowano jednobiegunowe, samoprzylepne elektrody odbiorcze o średnicy 30mm wykonane na bazie chlorku srebra (Sorimex, Polska Ag/AgCl). Elektrode umieszczono na powierzchni mięśnia prostownika nadgarstka łokciowego (extensor carpi ulnaris) każdej z kończyn zgodnie z metodyką proponowaną przez Zippa (1982), tzn. w 1/3 linii centralnej wiodącej od pośredniego punktu pomiędzy nadkłykiem bocznym kości ramiennej (epicondylus lateralis) a wyrostkiem łokciowym kości łokciowej (olecranon) do wyrostka rylcowatego (processus styloideus) kości łokciowej. Elektrody pasywne (referencyjne), zapewniające odbiór sygnałów o odpowiedniej jakości zostały umieszczone na wyrostku łokciowym (olecranon) kości łokciowej każdej z badanych kończyn. W celu zapewnienia pełnej ochrony poddającym się badaniu osobom, stymulator został dodatkowo odizolowany od badanych za pomocą pasywnej jednostki izolującej IST-1 (Medicor, Węgry), elektroda izolująca w formie opaski nasączonej roztworem NaCl została umieszczona na przedramieniu badanych pomiędzy elektrodą drażniącą a odbiorczą. Każdy z badanych przyjmował wygodną pozycję siedzącą, ramię nieco odwiedzone z przedramieniem opartym na blacie stołu, dłoń leżąca w naturalnej pozycji, o mięśniach świadomie rozluźnionych. Nerve promieniowy drażniono dwubiegunową elektrodą (Axotape) ok. 2 cm powyżej zgięcia łokciowego, w miejscu gwarantującym dobry dostęp do nerwu (patrz rys). Amplitudę bodźca stymulującego dobrano zwiększając amplitudę od 0 aż do uzyskania największej amplitudy odpowiedzi M; rejestracja fali M następowała dopiero po ustaleniu optymalnych parametrów położenia elektrody drażniącej oraz amplitudy bodźca drażniącego. Bodziec stymulujący był powtarzany cyklicznie w stałych odstępach czasowych 10 sekund, co zapewniało możliwość zmiany położenia elektrody drażniącej za każdym razem w celu ustalenia najdogodniejszego umiejscowienia jej w celu wykonania pomiarów. Bardzo pomocne były informacje zwrotne od badanych, którzy referowali cały czas swoje odczucia w czasie wykonywania badania. Rejestrowano 10 kolejnych reakcji mięśnia, każdą na osobnym ekranie co ułatwiało późniejsze odtworzenie i analizę wykresów elektromiograficznych. Odczytu danych zarejestrowanych w czasie pomiarów dokonano za pomocą opcji measure programu Axotape V2 (Axon Instruments, USA). Dane surowe obejmowały następujące parametry: latencja początkowa ortodromowej fali mięśniowej M (LATM), delta maksymalnej amplitudy fali M (AmpM), czas odpowiedzi mięśniowej (tM), amplituda i czas czoła odpowiedzi (AczM, tczM). Średnia z 10 zarejestrowanych w czasie sesji laboratoryjnej pomiarów podlegała dalszym analizom. Odruch Hoffmanna (fala H) oraz bezpośrednia reakcja motoryczna (fala M) mięśnia płaszczkowatego (soleus) prawej i lewej kończyny dolnej u każdego z badanych zostały zarejestrowane w czasie tej samej, pojedynczej sesji laboratoryjnej. Wszystkie badania zostały wykonane w tym samym pomieszczeniu zapewniającym stałą temperaturę

powietrza ok. 22°C i w tej samej porze dnia (pomiędzy 10 a 12 rano) w celu zapewnienia wszystkim badanym podobnych warunków otoczenia w czasie wykonania badania

Do odbioru reakcji neurofizjologicznych mięśni soleus prawej i lewej kończyny dolnej zastosowano jednobiegunowe, samoprzylepne elektrody odbiorcze o średnicy 30mm wykonane na bazie chlorku srebra (Sorimex, Polska Ag/AgCl). Elektrody pasywne (referencyjne), zapewniające odbiór sygnałów o odpowiedniej jakości zostały umieszczone na rzepce (patella) każdej z badanych kończyn. Elektrody aktywne zostały przyklejone symetrycznie na obu kończynach dystalnie w stosunku do brzośca mięśnia brzuchatego łydki (gastrocnemius), przyśrodkowo względem ścięgna Achillesa. Elektrody referencyjne (pasywne) zostały umieszczone symetrycznie na rzepce (patella) nogi prawej i lewej. W celu zapewnienia pełnej ochrony poddającym się badaniu osobom, stymulator został dodatkowo odizolowany od badanych za pomocą pasywnej jednostki izolującej IST-1 (Medicor, Węgry), dodatkowa elektroda izolująca w formie opaski nasączona roztworem NaCl została umieszczona na podudziu testowanej kończyny pomiędzy elektrodą drażniącą a odbiorczą. W czasie wykonywania eksperymentu badany przyjmował pozycję leżąc przodem na kozetce; z ramionami ułożonymi wzdłuż tułowia i głową położoną centralnie tak, aby kręgosłup badanego stanowił jedną linię. Stopy badanego wystawały poza kozetkę tak, aby w czasie badania mięśnie łydek były cały czas rozluźnione, podobnie jak mięśnie antagonistyczne (tibialis anterior). Skóra każdego badanego była uprzednio odpowiednio przygotowana do zamocowania elektrod poprzez usunięcie owłosienia oraz oczyszczenie za pomocą tamponu z gazy nasączonego spirytusem salicylowym. Do stymulacji elektrycznej nerwu piszczelowego w dole podkolanowym kończyn użyto elektrostymulatora ST-3 (Medicor, Węgry) oraz dwubiegunowej powierzchniowej elektrody stymulującej. W czasie wykonywania badania katoda elektrody drażniącej umieszczona była proksymalnie w stosunku do anody w celu wyeliminowania możliwości powstania tzw. bloku anodowego. W czasie aktywnego przepływu prądu drażniącego pod elektrodą dodatnią (anodą) wzrastał potencjał wewnątrzkomórkowy prowadzący w efekcie do miejscowej hiperpolaryzacji błony komórkowej i do lokalnego zwiększenia progu pobudzenia nerwu piszczelowego. W zastosowanej elektrodzie bipolarnej odległość pomiędzy anodą a katodą wynosiła 2 cm. Pojedynczy impuls elektryczny o ustalonym czasie trwania 0,5 ms. Tak dobrany czas impulsu zapewniał komfort badanym, co miało szczególne znaczenie przy badaniu dzieci. Czas impulsu poniżej 1 ms nie powodował drażnienia włókien bólowych typu C, przez co badanie było bezbolesne. Amplituda impulsu elektrycznego była stopniowo zwiększana od 0 aż do uzyskania maksymalnej odpowiedzi H. Po uzyskaniu najlepszych parametrów odpowiedzi mięśniowej rejestrowano 10 kolejnych reakcji bez zmian położenia elektrody drażniącej. Wywołane drażnieniem nerwu piszczelowego sygnały EMG z mięśnia płaszczkowatego przekazywane były na sondy EMG (AI 405 Axon Instruments, USA), a następnie do ośmiokanałowego wzmacniacza sygnałów biologicznych (CyberAmp 380). Sygnały elektryczne z mięśnia były wzmocnione 1000 razy i jednocześnie zastosowano filtrację sygnału w zakresie 10-1000 Hz. Tak przygotowany sygnał był próbkowany przez komputer z częstotliwością 12,5 kHz (Przetwornik TL-1, Axon Instruments, USA). Rejestrowane sygnały EMG były obrazowane w czasie rzeczywistym na ekranie komputera w postaci krzywej elektromiograficznej. Rejestracji i analizie podlegały następujące parametry wczesnej i późnej odpowiedzi motorycznej: początkowa latencja fali M (Lat M) i odruchu Hofmanna (Lat H) dla kończyny prawej i lewej, delta amplitudy min – max ortodromowej fali mięśniowej ( $\Delta AM$ ) oraz fali H ( $\Delta AH$ ) kończyny prawej i lewej. Ponadto analizowano

takie dodatkowe parametry jak amplituda i czas narastania czoła odpowiedzi (Acz M, Acz H), które pozwalały na obliczenie czuciowej ( $V_s$ ) i ruchowej ( $V_m$ ) szybkości przewodzenia w układzie obwodowym na podstawie wzorów matematycznych: Wszystkie pomiary zostały przeprowadzone przez ten sam, przeszkolony w zakresie procedur zespół badawczy, pomiarów komputerowych dokonano w standardowych warunkach Pracowni Diagnostyki Motorycznej Katedry Motoryczności Człowieka Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach.

#### d) Metody statystycznego opracowania wyników

Do analizy danych uzyskanych w procesie badawczym zastosowano metody statystyki opisowej i porównawczej pozwalające określić zarówno zgodność wyników z rozkładem normalnym jak i poziom jednorodności wyników uzyskanych w kolejnych grupach badawczych. Pracę nad statystycznym opracowaniem wyników podzielono na 4 główne etapy, w każdym z nich zastosowano swoiste dla etapowych celów badawczych metody matematycznej analizy danych pomiarowych.

##### 1. statystyki opisowe

Na wstępie obliczono i przeanalizowano miary tendencji centralnej oraz standardowe miary dyspersji wyników- średnie arytmetyczne ( $\bar{x}$ ), odchylenia standardowe (SD), mediany, mody, wskaźniki zmienności, skośność oraz kurtozę poszczególnych uzyskanych z badań parametrów. Zastosowano testy Kołmogorowa-Smirnova oraz Lillieforsa jak również metody graficznego przedstawienia wstępnych wyników ułatwiające analizę danych pomiarowych

##### 2. weryfikacja skal lateralizacji

Weryfikację zgodności 2 skal lateralizacji (I LAT, DXQ, ) oparto na analizie korelacji oraz regresji liniowej, odrębnie kończyn górnych i dolnych. Wyniki tych testów i obliczone parametry modelu regresji (współczynniki regresji, ich odchylenia standardowe oraz istotność, jak i stała regresji) wykorzystane zostały do zinterpretowania zgodności skal lateralizacji i opracowania optymalnej metody określenia stopnia i kierunku lateralizacji funkcjonalnej w obrębie kończyn górnych i dolnych badanych. W celu weryfikacji zgodności samooceny lateralizacji kończyn z wynikami dwóch pozostałych testów lateralizacji przeprowadzone zostały testy niezależności (chi-kwadrat) zmiennej samooceny (SO) ze zmienną uzyskaną z innych testów. Analiza ta pozwoliła na ocenę wartości diagnostycznej samooceny dominacji w obrębie kończyn badanych; ze względu na trudności badanych w określeniu swojej dominującej kończyny (szczególnie kończyny dolnej) i częstość stosowania właśnie samooceny jako jedynej metody oceny lateralizacji w wielu pozycjach literatury analiza ta stanowiła ważny element opracowania danych. Dokładne ustalenie modeli lateralizacji kończyn badanych i odrzucenie wyników nie odpowiadających przyjętym standardom pozwoliło na przejście do kolejnego etapu analizy wyników badań

##### 3. Analiza wyników testów psychomotorycznej i sprawności procesów przewodzenia w obwodowym układzie nerwowym

W celu przybliżenia istoty neurofizjologicznego podłoża lateralizacji funkcjonalnej kończyn, co było naczelnym celem prowadzonych badań dokonano analizy porównawczej wyników szczegółowych uzyskanych w kolejnych etapach badań. W celu porównania wyników testów sprawności psychomotorycznej (WST, FRITZ) oraz parametrów niezbędnych do oceny

sprawności procesów przewodzenia w obwodowym układzie nerwowym uzyskanych w badaniu reakcji neurofizjologicznych (EMG) przez wyodrębnione grupy badawcze zastosowano szeroko analizę wariancji. Uznano, że metoda ta pozwoli na precyzyjne określenie stopnia zróżnicowania wyników w obrębie badanych zjawisk ruchowych i pomoże uzyskać miarodajne informacje pozwalające na wnioskowanie o istnieniu bądź braku związków i/ lub zależności poszczególnych parametrów sprawności procesów kontroli motorycznej z lateralizacją w obrębie kończyn górnych i dolnych człowieka (Lewicki i wsp.1998). W badaniach, w których ważnymi parametrami była zarówno szybkość jak i dokładność ruchu zastosowano obliczone wskaźniki szybkości – dokładności wykonania zadania kończyną dominującą i nie dominującą jako parametr obrazujący całościowo jakość wykonania zadania przez daną kończynę. Wskaźniki obliczono za pomocą wzorów matematycznych biorąc pod uwagę stosunek czasu wykonania zadania do jego precyzji (np. liczby uderzeń czy trafień w zależności od podtestu WST:

Ze względu na wykryte w czasie wstępnej analizy danych duże zróżnicowanie między osobnicze wyników badań WST, FRITZ oraz EMG, w analizie wyników rozpatrywane były nie wartości pojedynczych zmiennych uzyskanych z pomiarów, ale współczynniki asymetrii każdej zmiennej(W) wyznaczone ze wzoru:

$$W_x = \frac{(X_D - X_N)}{(X_D + X_N)}$$

gdzie:

W<sub>x</sub>- współczynnik asymetrii (=1 dla całkowitej przewagi kończyny dominującej, =-1 dla całkowitej przewagi kończyny nie dominującej, =0 symetria)

X<sub>D</sub> – wartość parametru dla kończyny dominującej

X<sub>N</sub> – wartość parametru dla kończyny nie dominującej

Dla wartości wskaźników asymetrii poszczególnych parametrów przeprowadzona została analiza wariancji względem kategorii lateralizacji (modelu w układzie ręka – noga) A: PR-PN, B: LR-LN, C: PR=LN, D: LR-PN. Do tego celu wykorzystano nieparametryczne test Kruskalla – Wallisa (analiza względem modelu lateralizacji kończyn) oraz test Manna – Whitneya ( analiza względem kończyny wykonującej zadanie).

Analiza wariancji Kruskala-Wallisa to rangowy test statystyczny pozwalający na porównanie wielu prób. Test ten nie wymaga założeń odnośnie rozkładu populacji, z której wywodzi się próba. Test Kruskala – Wallisa jest uważany za nieparametryczną alternatywę dla jednoczynnikowej analizy wariancji między grupami. Statystyka testowa Kruskala-Wallisa jest miarą odstępstwa średnich próbkowanych rang od wartości średniej wszystkich rang, równej (n+1)/2.

Test ANOVA Kruskalla-Wallisa został wykorzystany do porównania niezależnych prób badanych reprezentujących poszczególne modele lateralizacji kończyn w układzie ręka – noga. Użycie testu nieparametrycznego zostało podyktowane nie spełnieniem wymogów co do wartości skośności i kurtozy niektórych parametrów uznanych za istotne dla wyników badań.W analizie tej zmiennymi zależnymi były kolejne wskaźniki asymetrii obliczone dla



poszczególnych zmiennych, a zmienną grupującą model lateralizacji kończyn. W celu dokładnej analizy danych stworzono też dokładne tabele dwudzielcze uzyskanych wyników dla poszczególnych modeli lateralizacji. W przypadkach zaobserwowania efektów głównych dokonywano testów porównań szczegółowych z wykorzystaniem analizy post – hoc HSD Tukeya dla prób o różnych liczebnościach.

W celu porównania wyników uzyskanych przez osoby prawo i leworęczne oraz prawo i lewo – nożne z uwzględnieniem dominacji kończyny podlegającej bezpośrednio testowaniu posłużono się nieparametrycznym testem U Manna- Whitneya dla dwóch prób niezależnych. Test Manna – Whitneya jest nieparametryczną metodą opartą na rangach, podobnie jak test Kruskalla – Wallisa. Przeznaczony jest do analizy dwóch grup niezależnych w przypadkach, gdy nie jest możliwe zastosowanie testów parametrycznych

#### 4. Zależność wyników WST od EMG

Wskaźniki asymetrii parametrów WST, FRITZ i EMG wykazujące największe i istotne zróżnicowanie między poszczególnymi kategoriami lateralizacji wykorzystane zostały do utworzenia zmiennej agregatywnej charakteryzującej lateralizację. Zastosowana tu została analiza rzetelności i pozycji. Dla zmiennej tej podjęta została próba wyznaczenia wartości progowych pozwalających klasyfikować badanych do poszczególnych grup lateralizacji, ze szczególnym uwzględnieniem parametrów uzyskanych w badaniu EMG. Przeprowadzona będzie analiza korelacji współczynników asymetrii WST i FRITZ ze współczynnikami asymetrii EMG, co pozwoli na wnioskowanie o przydatności testów psychomotorycznych do oceny neurofizjologicznego podłoża lateralizacji

Wszystkie analizy statystyczne zostały wykonane przy zastosowaniu programu Statistica. w polskojęzycznej wersji (Statsoft).

## WYNIKI BADAŃ

### Wyniki badań lateralizacji

Przed ustaleniem modelu lateralizacji każdego z badanych dokonano analizy porównawczej obu zastosowanych skal lateralizacji w celu ustalenia optymalnej metody oceny lateralizacji kończyn górnych i dolnych badanych. Weryfikacji skal dokonano na grupie 66 osób dorosłych do lat 30 ze względu na jej liczebność oraz charakter: wyklucza ona wpływ procesów rozwojowych i involucyjnych na obraz lateralizacji funkcjonalnej badanych i pozwala należycie zweryfikować zgodność skal lateralizacji bez wpływu czynników zmieniających obraz lateralizacji badanych.

W badanej grupie dokonano oceny lateralizacji kończyn z zastosowaniem dwóch odmiennych skal lateralizacji opartych na rozbudowanym kwestionariuszu ankiety zawierającym pytania wg Oldfielda, Anett i Mekoty zawierającym również pytanie o samoocenę preferencji kończyny górnej i dolnej badanych. Po zebraniu informacji od badanych, wyniki zostały przeanalizowane pod kątem ustalenia liczby badanych o ustalonej i nie ustalonej lateralizacji, jej kierunku oraz stopniu (słabe lub silne zlateralizowanie).

Analiza rozkładów wartości uzyskanych poprzez zastosowanie skal lateralizacji do badania kończyn górnych wskazała na wybitnie dychotomiczny charakter uzyskanych wyników. Testy normalności Kołmogorowa -Smirnova (K-S) i Lillieforsa wykazały istotne odstępstwo od typowego rozkładu normalnego zarówno w przypadku zmiennej I ILAT RR jak i zmiennej DXQ RR. Dwumodalność rozkładu świadczy o tym, że obie badane skale lateralizacji różnicują należycie grupę pod kątem lateralizacji funkcjonalnej kończyn górnych; rozkład dychotomiczny, szczególnie w przypadku zmiennej I LAT, gdzie nie zanotowano w ogóle przypadków ambidekstrii kończyn świadczy o większym niż w przypadku skali DXQ RR potencjale różnicowania badanych cech skali I LAT RR.

W przypadku testowania kończyn dolnych, wyniki obu zastosowanych skal lateralizacji wykazały rozkłady zbliżone do normalnego, co potwierdziła zarówno analiza statystyczna testami Kołmog Oroya-smirnova. Uzyskane wyniki wskazały na fakt, że zastosowanie indeksu lateralizacji oraz wskaźnika całkowitej funkcji kończyny prawej dla kończyn dolnych nie gwarantuje jednoznacznej oceny dominacji w obrębie kończyn, tak jak to miało miejsce w przypadku dominacji manualnej. Pomimo tej samej procedury obliczania wskaźników, w przypadku kończyn dolnych zanotowano o wiele większą w porównaniu do kończyn górnych liczbę wyników zbliżonych do wartości średnich skal, co nakazywało zakwalifikowanie badanego do grupy osób ambidekstralnych, czyli o lateralizacji nieustalonej. Szczególnie dużą liczbę ambidekstrów uzyskano określając kończynę dominującą za pomocą wskaźnika DXQ; tu do grupy ambidekstrów zakwalifikowanych zostało prawie 41 % badanych .

Wyniki te wskazały na fakt, że ustalenie dominacji funkcjonalnej kończyn dolnych za pomocą ankiety wywiadu pośredniego wydaje się być trudne ze względu na zasadniczo symetryczny charakter pracy kończyn dolnych w warunkach życia codziennego (stanie, lokomocja w postaci chodzenia lub biegu). O wiele trudniej jest znaleźć takie czynności ruchowe, które wymagają wyraźnej preferencji jednej z kończyn i są przy tym znane z autopsji wszystkim badanym. W przypadku braku doświadczeń badanego dotyczących danej czynności może on asekuracyjnie wybierać odpowiedź wskazującą na brak preferencji którejkolwiek z kończyn w danym przypadku, co zwiększało prawdopodobieństwo kwalifikacji końcowej badanego do grupy ambidekstrów.

W celu określenia przydatności diagnostycznej zastosowanych skal lateralizacji i oceny ich kompatybilności dokonano analizy zgodności indeksu lateralizacji I LAT oraz wskaźnika całkowitej funkcji kończyny prawej DXQ za pomocą analizy korelacji oraz regresji liniowej. Procedury przeprowadzono odrębnie kończyn górnych i dolnych.

W przypadku zarówno kończyn górnych jak i dolnych estymację parametrów modelu regresji poprzedzono wykonaniem wykresu rozrzutu punktów empirycznych (wyników uzyskanych w próbie).

Wstępna analiza korelacji wyników uzyskanych za pomocą dwóch odmiennych skal lateralizacji wykazała wysoką korelację wyników obu skal w przypadku kończyn górnych. Współczynnik korelacji Pearsona w przypadku kończyn górnych przyjął wartość  $r=0,99473$ , co wskazuje na bardzo silną zależność pomiędzy wynikami obu zastosowanych testów oceny dominacji funkcjonalnej kończyn. W przypadku kończyn dolnych zaobserwowano większy rozrzut wyników uzyskanych za pomocą dwóch skal lateralizacji (patrz wykres 4 dla kończyn dolnych), ale biorąc pod uwagę wystarczającą zależność wyników obu skal ( $r=0,8$ ) co wskazuje na wysoką korelację dla kończyn dolnych również zbudowano model regresji.

Ze względu na silną zależność wyników dwóch zastosowanych wskaźników (skal) lateralizacji kończyn wykorzystano model regresji do weryfikacji ich zgodności. Ocena zgodności skal lateralizacji jest przydatna dla potwierdzenia wartości diagnostycznej obu metod oceny dominacji funkcjonalnej kończyn zarówno górnych, jak i dolnych. Przyjmując, że współczynnik całkowitej funkcji kończyny prawej DXQ jest zmienną zależną, a zmienna I LAT RR zmienną niezależną (ta zmienna wykazała w badanej grupie mniejszy zakres badanych wartości) obliczono podstawowe parametry modelu regresji (współczynniki regresji, ich odchylenia standardowe, istotność oraz stała regresji), które pozwoliły na weryfikację zgodności obu skal.

W przypadku kończyn górnych zgodność skal estymowana za pomocą modelu regresji wykazała wysoką wartość współczynnika regresji dla zmiennych standaryzowanych beta ( $\beta = 0,99$ ), co świadczy o ich dużej zgodności. Potwierdzeniem tego wyniku jest także współczynnik regresji B, określający relację proporcjonalności obu testowanych skal lateralizacji. Wartość współczynnika B wyniosła 1,97, co oznacza, że jeśli wartość I LAT wzrośnie o 1, to wartość DXQ wzrośnie o 1,97. O kompatybilności obu zastosowanych skal lateralizacji świadczy też wyznaczona stała regresji oraz niewielka wartość błędu standardowego regresji, będącej miarą rozproszenia względem wyznaczonej prostej regresji. W przypadku kończyn górnych wartość błędu wyniosła zaledwie 0,02.

Podsumowując analizę regresji przeprowadzoną dla wyników zastosowanych testów lateralizacji kończyn dolnych również potwierdzono dostateczną zgodność obu skal lateralizacji, chociaż wartości współczynników regresji były w tym przypadku nieco gorsze ( $\beta = 0,80$ ;  $B = 3,35$ ). Wartość błędu standardowego regresji przyjęła wyższą wartość niż w przypadku kończyn górnych (0,31), co świadczy o znacznie większym rozproszeniu wyników względem wyznaczonej prostej regresji (patrz tabela 5). Analiza regresji potwierdziła, że estymacja dominacji funkcjonalnej w obrębie kończyn dolnych jest trudnym zadaniem; a wyniki estymacji mogą być obarczone błędem nawet przy zastosowaniu dwóch niezależnych testów lateralizacji

Kolejnym etapem weryfikacji zastosowanych metod oceny dominacji funkcjonalnej kończyn badanych była weryfikacja zgodności samooceny dominacji kończyn badanych z tymi określonymi na bazie obliczonych wskaźników (I LAT, DXQ). W tym celu dokonano analizy korelacji wyniku samooceny i oceny dominacji badanej za pomocą wskaźnika DXQ i indeksu I LAT. Ze względu na niejednorodność grupy badawczej do oceny współzależności badanych zmiennych wykorzystano nieparametryczny test korelacji rang Spearmana.

Wyniki analizy wskazują na największą trafność oceny dominacji funkcjonalnej kończyn górnych za pomocą indeksu lateralizacji DXQ w połączeniu z informacją zwrotną o samoocenie badanych, gdzie zanotowano wysoką zgodność wyników. W przypadku kończyn dolnych zarówno indeks lateralizacji I LAT jak i wskaźnik całkowitej funkcji kończyny prawej DXQ wykazały wyraźną i istotną zależność z autooceną badanych wyrażoną umiarkowaną wartością współczynnika korelacji. Interesującym wynikiem jest uzyskanie korelacji ujemnej w przypadku samooceny dominacji w obrębie kończyn dolnych i odpowiadających wyników testowania lateralizacji. Wynik ujemny oznacza, że gdy wartość wskaźnika rośnie (czyli badany wykazuje tendencję do prawostronności), subiektywne odczucie badanego jest odwrotne, tzn. uważa się za osobę o nie prawostronnej lateralizacji kończyn dolnych (w większości przypadków za osobę obunożną czyli ambidekstra) lub

odwrotnie. Świadczy to prawdopodobnie o słabej znajomości własnego zlateralizowania kończyn dolnych u dużej części testowanych osób; badani albo nigdy się nie zastanawiali nad tym, która noga jest u nich dominująca i po prostu nie wiedza, którą nogę wybrać jako wiodącą, bądź mają mylne wyobrażenie o swojej lateralizacji. Powszechnie jest uważanie nogi silniejszej za swoją kończynę dominującą; w rzeczywistości należy różnicować dominację siłową od dominacji w ruchach precyzyjnych (ta właśnie jest określana w skali DXQ i I LAT).

Zakładając obiektywizm i trafność zastosowanych testów dominacji funkcjonalnej (oba zastosowane wskaźniki były weryfikowane przez autorów pod kątem rzetelności oraz trafności, patrz publikacje Oldfield 1971 i Mekota 1984), uzyskane wyniki wskazują na niedostateczną wartość diagnostyczną samooceny badanych jako jedynej metody oceny dominacji funkcjonalnej kończyn. W związku z tym, przy ostatecznej ocenie lateralizacji kończyn badanych samoocenę w zakresie kończyny dominującej (szczególnie w przypadku kończyn dolnych) traktowano jako dodatkowy wskaźnik lateralizacji, rozstrzygający wątpliwości na korzyść jednej ręki lub nogi wyłącznie w przypadku braku zgodności dwóch skal lateralizacji (I LAT i DXQ).

### **Ocena lateralizacji funkcjonalnej kończyn badanych**

Lateralizację badanych stanowiła wypadkowa wyniku 3 zastosowanych standardowych metod oceny lateralizacji: samooceny oraz dwóch niezależnie obliczonych skal lateralizacji. Biorąc pod uwagę wykazaną matematycznie dostateczną kompatybilność skal (rozdział 7.1.), różnice wyniku występujące u niektórych badanych niwelowano przyjmując, że w przypadku braku idealnej zgodności wyników (przypadki, w których jedna ze skal wskazywała ambidekstrię, a druga prawo lub lewostronność), o kwalifikacji badanego do grupy osobników prawo bądź lewostronnych decydowała zgodność jednej skali z samooceną badanego. Takie postępowanie pozwoliło wyeliminować większość przypadków lateralizacji nieustalonej (ambidekstrii) u badanych zarówno w przypadku kończyn górnych jak i dolnych; przypadki skrajnych różnic wyników obu skal (np. w jednej skali badany był praworęczny, a w drugiej leworęczny) zostały wyeliminowane z dalszych analiz, ze względu na możliwość dużego błędu popełnionego przez badanego w czasie wypełniania ankiety; uznano, że w tych przypadkach zgodność jednego wyniku z samooceną badanego nie stanowi wystarczająco silnej podstawy do jednoznacznej oceny lateralizacji. Po dokonaniu ostatecznej oceny lateralizacji i odrzuceniu przypadków skrajnych niezgodności ustalono model lateralizacji kończyn dla 88 osób z przebadanych 105.

W głównej grupie badawczej osób dorosłych (66 przypadków) zanotowano największą liczbę osób o prawostronnej lateralizacji zarówno w obrębie kończyn górnych, jak i dolnych. Praworęczni stanowili 69,7% ogółu badanych (46 osób), a leworęczni 30,3%. 57,6% charakteryzowało się dominacją funkcjonalną prawej kończyny dolnej (38 osób), a 42,4% dominacją kończyny dolnej lewej. Model lateralizacji A w układzie ręka – noga prezentowało 31 badanych, co stanowiło 47% wszystkich analizowanych przypadków. Liczba osób o lateralizacji skrzyżowanej opartej o praworęczność (typ C) to 15 przypadków, czyli 22,7% badanych. Jednorodna lateralizacja lewostronna została stwierdzona u 13 osób, co stanowiło 19,7%. Najrzadziej występował model lateralizacji skrzyżowanej oparty na leworęczności – zanotowano jedynie 7 przypadków, co stanowiło 10,6% badanych.

Rozkład liczebności uzyskany w tych badaniach odzwierciedla obraz lateralizacji europejskiej populacji; badani dobrani losowo potwierdzili, że w Europie dominuje model prawostronny zarówno w przypadku kończyn górnych, jak i dolnych. Dość wysoki odsetek leworęcznych (ponad 30%) może być efektem specyfiki grupy badawczej (studencji wf) oraz bardzo wnikliwej diagnostyki lateralizacji. (w innych badaniach było o wiele przypadków ambidekstrii, tu prawie całkiem wyeliminowane).

### **Analiza wyników testów psychomotorycznych w aspekcie lateralizacji kończyn**

Analiza współczynników asymetrii wyników testów sprawności psychomotorycznej dla ręki dominującej i nie dominującej u każdego z badanych wykazała, że u każdej z badanych osób występują różnice stronne w jakości wykonania zadań. Jednak nie we wszystkich przypadkach lepszy wynik wskazywał jednoznacznie na rękę dominującą.

W głównej grupie badawczej – osób dorosłych do lat 30 zanotowano istotne powiązania wyników WST z lateralizacją kończyn w następujących testach: test decyzji DG, test sprawności motorycznej MLS, (szczegółowe podtesty śledzenie liniowe i wystukiwanie) oraz test rytmizacji TAP (próba dla kończyn górnych).

#### *Test DG – test decyzji*

W teście decyzji (DG) zarówno osoby prawo jak i leworęczne wykonywały nieco gorzej zadanie ręką dominującą (co potwierdza wyniki uzyskane przez innych autorów). U osób praworęcznych różnice pomiędzy wynikiem ręki dominującej i nie dominującej były jednak większe i współczynnik asymetrii osób prawo i leworęcznych wykazał graniczną istotność tej różnicy w teście U Manna – Whitney’a ( $p=0,050$ ). Biorąc pod uwagę odchylenie standardowe średniego współczynnika grupy jako miarę rozproszenia rezultatów uzyskanych w całej grupie również zanotowano istotne różnice pomiędzy osobami prawo i leworęcznymi. ( $p=0,005$ ). Grupa osób praworęcznych prezentowała większe zróżnicowanie osobnicze stopnia asymetrii pomiędzy ręką dominującą i nie dominującą.

Analizując wyniki testu decyzji DG dla prawej i lewej ręki badanych pod kątem modelu lateralizacji kończyn w układzie ręka-noga zanotowano brak istotnych różnic wartości współczynnika asymetrii dla ręki dominującej i nie dominującej pomiędzy poszczególnymi modelami lateralizacji. Wyniki wskazały na jednolity rozkład asymetrii pomiędzy wyznaczonymi modelami lateralizacji. Różnice istotne wykazał natomiast współczynnik asymetrii odchyłeń standardowych wyników czasu reakcji uzyskanych przez obie kończyny testowane w teście DG. Istotność wyników obliczana testem Kruskalla – Wallisa wyniosła  $p=0,01$ . Szczegółowa analiza współczynników asymetrii odchyłeń czasu reakcji w poszczególnych grupach wykazała, że największe różnice pomiędzy wynikiem dla ręki dominującej i nie dominującej w tym zakresie prezentowały osoby praworęczne o lateralizacji skrzyżowanej w układzie ręka – noga (PR/LN, model C), a najmniejsze drugi model lateralizacji skrzyżowanej (LR/PN, model D), co potwierdziły analizy post- hoc Tukeya dla nierównych liczebności grup ( $p=0,048$ ). Osoby o lateralizacji jednorodnej w układzie ręka – noga uzyskały w teście średnie wartości współczynników symetrii odchyłeń

Model C charakteryzował się zatem najwyższymi wartościami czasu reakcji (najgorszy wynik ze wszystkich modeli i dla dominującej i nie dominującej ręki) i zarazem największymi odchyleniami od średniej. Warto zwrócić też uwagę, że tylko jeden z badanych modeli lateralizacji charakteryzował się ujemną wartością średnią współczynnika asymetrii

odchylenia wyniku od średniej –model lateralizacji skrzyżowanej typu D, czyli LR/PN. Ujemna wartość wskaźnika świadczy o większym rozproszeniu wyników dla ręki dominującej niż dominującej, co było charakterystyczne dla wszystkich pozostałych typów lateralizacji.

#### *Test MLS – test sprawności motorycznej*

Kolejne istotne wyniki uzyskano w analizie wskaźników asymetrii testów sprawności motorycznej MLS – w podtestach śledzenia liniowego, celowania oraz wystukiwania. W próbie śledzenia liniowego obliczono wskaźniki szybkości i dokładności dla ręki prawej i lewej osobno, a po ich wstępnej analizie porównano te wartości uzyskując współczynnik asymetrii tych współczynników. Zarówno u osób prawo jak i leworęcznych współczynniki szybkości i dokładności były korzystniejsze dla ręki dominującej; z przewagą osób praworęcznych. Nie zanotowano jednak istotności statystycznej zaobserwowanych różnic ( $p=0,37$  dla ręki D,  $p=0,065$  dla ręki N). Szczegółowa analiza danych pozwoliła stwierdzić, że osoby leworęczne uzyskały wyższą wartość współczynnika asymetrii kończyn w śledzeniu liniowym. Oznacza to, że leworęczność w badanej grupie była związana z większymi różnicami jakości wykonania zadania ręką dominującą i niedominującą. Stosunek szybkości do dokładności w czasie śledzenia liniowego w obu grupach był korzystniejszy dla ręki dominującej, w obu podgrupach. Jednak grupa osób leworęcznych wykonała zadanie generalnie wolniej i mniej dokładnie niż grupa osób praworęcznych. Wyniki testu Manna-Whitneya nie potwierdziły istotności statystycznej różnic wartości współczynnika asymetrii parametru złożonego szybkość–dokładność śledzenia liniowego uzyskanych przez grupy osób prawo i leworęcznych ( $p=0,26$ ). W przypadku tego zadania prawo i leworęczne osoby prezentowały porównywalny statystycznie stopień zróżnicowania jakości wykonania zadania ręką dominującą i nie dominującą. Dokładna analiza szybkości dokładności wykonania zadania pozwoliła jednak na ustalenie, że znaczące różnice pomiędzy osobami prawo i leworęcznymi występowały w liczbie popełnionych błędów– czyli dokładności wykonania śledzenia ręką nie dominującą (NB liczba błędów  $p=0,004$ ) Dokładność wykonania zadania ręką wiodącą była w obu grupach podobna, podobnie jak czas wykonania całego zadania.

W wyjaśnieniu przyczyn takiego rozkładu wyników pomocna była analiza wyników pod kątem prezentowanego przez badanych modelu lateralizacji w układzie ręka – noga. Test Kruskalla-Wallisa przeprowadzony dla współczynników asymetrii parametru DN W SDS (szybkość – dokładność śledzenia), gdzie zmienną grupującą był model lateralizacji kończyn wykazał istotne różnice na poziomie  $p=0,0014$ .

Analizy post hoc (HSD Tukeya dla różnych liczebności) wykazały, że najbardziej różniły się między sobą wyniki uzyskane dla grup C i D ( $p=0,01$ ), czyli wyniki badanych prezentujących dwa przeciwstawne modele lateralizacji skrzyżowanej w układzie ręka – noga (PR/LN i LR/PN). Najwyższe wartości wskaźnika asymetrii zanotowano przy tym dla grupy osób leworęcznych i prawonożnych. Podobne rezultaty uzyskano w teście decyzji DG, co może świadczyć o roli modelu lateralizacji w ruchach wykonywanych pod kontrolą analizatora wzrokowego. Wyraźne podobieństwo osób o lateralizacji jednorodnej oraz jednocześnie wyraźne zróżnicowanie dotyczące osób o lateralizacji skrzyżowanej w aspekcie asymetrii wyników uzyskanych dla dominującej i nie dominującej kończyny zaobserwowano u wszystkich badanych, niezależnie od tego, czy byli oni prawo czy leworęczni. Świadczyć to może o wpływie afferentnej informacji zwrotnej z kończyn dolnych na efekt zadania

wykonywanego zadania ruchowego. Może to stanowić przyczynek do potwierdzenia hipotezy wspólnego mechanizmu kontroli motorycznej dla całego systemu efektorów w ciele człowieka (the common core hypothesis, Zehr 2005), w którym aktywność niższych poziomów sterowania motorycznego (peryferycznych) wpływa znacząco na wyższe poziomy sterowania i odwrotnie, na zasadzie wzajemnych sprzężeń zwrotnych.

Kolejnym podtestem baterii MLS, którego wyniki wykazały powiązania zarówno z dominacją w obrębie kończyn wykonujących zadanie jak i z modelem lateralizacji w układzie ręka – noga był test wystukiwania, w którym oceniano liczbę uderzeń palcem o metalową płytkę w czasie 32 sekund. Zarówno osoby prawo jak i leworęczne wykonywały zadanie gorzej ręką nie dominującą. Zaobserwowano wyraźną różnicę pomiędzy wynikiem ręki dominującej u lewo i praworęcznych osób na korzyść osób praworęcznych; natomiast wyniki dla ręki nie dominującej były w obu grupach zbliżone. Test U Manna–Whitney’a pod kątem dominacji w obrębie kończyn górnych potwierdził, że osoby prawo i leworęczne różnią się istotnie w zakresie stopnia asymetrii wykonania zadania wystukiwania ręką wiodącą i nie dominującą. ( $p=0,019$ ). Wyższe wartości współczynnika asymetrii osób praworęcznych ( $x=0,056\pm 0,44$ ) w porównaniu do osób leworęcznych ( $x=0,032\pm 0,039$ ) wskazały na wyraźną przewagę ręki dominującej u osób praworęcznych w unilateralnym wykonaniu zadania opartego o częstotliwość ruchu w obrębie małej motoryki. W grupie osób leworęcznych różnica pomiędzy ręką wiodącą i przeciwną również była zauważalna u wszystkich badanych, jednak te osoby okazały się bardziej symetryczne w zakresie jakości wykonania zadania kończynami górnymi. Ten wynik zdaje się potwierdzać wcześniejsze spostrzeżenia o większej wszechstronności motorycznej osób leworęcznych. Świadczy też o większej specjalizacji manualnej w zakresie małej motoryki osób praworęcznych; wpływ na tę sytuację zdaje się mieć model aktywności ruchowej w obecnej w Europie swoistej „kulturze prawostronności”.

Szukając powiązań wyników unilateralnego testu manualnego wystukiwania z modelem lateralizacji kończyn w układzie ręka – noga przeprowadzono analizę wyników pod kątem prezentowanego przez badanych modelu lateralizacji w układzie ręka – noga. Wyniki testu Kruskalla-Wallisa wykazały istotne różnice pomiędzy wartościami współczynnika asymetrii liczby trafień prawą i lewą ręką uzyskanymi w teście wystukiwania przez 4 grupy badanych ( $p=0,035$ ).

Analiza szczegółowa z zastosowaniem testu post hoc potwierdziła zaobserwowaną największą symetrię wykonania zadania prawą i lewą ręką przez osoby leworęczne o lateralizacji skrzyżowanej (LR/PN). Testy post-hoc wskazały też na istotne zróżnicowanie wyników osób prezentujących model lateralizacji C i D ( $p=0,018$ ) przy braku takiego zróżnicowania pomiędzy pozostałymi typami lateralizacji w układzie ręka – noga. Rezultaty te są zbieżne z wcześniejszymi wynikami w tym zakresie. Ciekawym spostrzeżeniem jest też fakt, że trzy pozostałe modele lateralizacji w układzie ręka – noga osiągnęły zbliżony poziom asymetrii, niezależnie od dominacji w obrębie kończyn dolnych. Oba modele lateralizacji jednorodnej (PR/PN; LR/LN) uzyskały najbardziej zbliżone wartości wskaźników asymetrii (0,054 i 0,044) przy tym samym poziomie odchyłeń standardowych wyników (0,04). Test celowania z baterii MLS wykazał istotne różnice jakości wykonania zadania w zależności od dominacji ręki wykonującej zadanie. Osoby praworęczne wykonywały zadanie szybciej ( $p=0,02$ ) i dokładniej, czyli uzyskując więcej trafień ( $p=0,002$ ) ręką dominującą. W przypadku testowania ręki nie dominującej lepsze wyniki uzyskiwały osoby leworęczne, wykazując większą dokładność wykonania zadania ( $p=0,004$ ), ale przy obniżeniu szybkości.

Ten efekt nie był jednak istotny statystycznie ( $p=0,8$ ). Obserwacje te zostały potwierdzone w analizie wskaźników szybkości – dokładności wykonania zadania przez dominującą i nie dominującą kończynę za pomocą testu Manna - Whitneya. Efekt istotności różnic pomiędzy grupami osób prawo i leworęcznych był szczególnie zaznaczony w przypadku wyników dla ręki dominującej ( $p=0,0002$ ). Wyniki dla ręki nie- dominującej znalazły się na granicy statystycznej istotności, ale poza zakresem istotności pozwalającej na wnioskowanie o istnieniu zależności ( $p=0,054$ ). Ciekawym spostrzeżeniem jest, że osoby leworęczne uzyskały prawie identyczny stosunek szybkości do dokładności ruchu swoją ręką dominującą i nie – dominującą (LR:  $0,23 \pm 0,11$ ; PR:  $0,24 \pm 0,11$ ), podczas gdy osoby praworęczne wykazały większy stopień zróżnicowania tak rozumianej ogólnej jakości wykonania zadania. W tej grupie wyraźnie zaznaczona była wprost proporcjonalna zależność wartości wskaźnika szybkości i dokładności od lateralizacji (ręka dominująca= wykonanie zadania szybciej oraz dokładniej). Podobna tendencja wystąpiła u leworęcznych, ale wartości odchyłeń standardowych wyników w grupie było o wiele większe, co świadczy o niejednorodności tej grupy badanych.

Ciekawy wynik, potwierdzony statystycznie testem Manna –Whitney’a uzyskano analizując asymetrię stronną wartości współczynników szybkości i dokładności wykonania zadania w teście celowania (DN W SD). Z dużym prawdopodobieństwem ( $p=0,00012$ ) zanotowano, że asymetria jakości wykonania testu celowania pomiędzy dominującą i nie dominującą kończyną była znacznie większa w grupie osób praworęcznych. W grupie osób praworęcznych wynik był przy tym zawsze korzystniejszy dla ręki wiodącej (świadczy o tym dodatnia u wszystkich badanych wartość wskaźnika asymetrii). W grupie osób leworęcznych zdarzały się przypadki korzystniejszej jakości wykonania zadania dla ręki nie dominującej (ujemna wartość wskaźnika asymetrii), pomimo że wartość średnia wskaźnika miała podobnie jak u praworęcznych osób znak dodatni. Uzyskane wyniki potwierdzają, że osoby leworęczne charakteryzują się mniejszą stałością uzyskiwanych wyników dla obu rąk, co pośrednio może stanowić przyczynek do potwierdzenia hipotezy o odmiennej strukturze kontroli motorycznej osób o nie prawostronnej lateralizacji kończyn. Istotne zróżnicowanie wyników testu celowania zanotowano analizując wyniki pod kątem modelu lateralizacji w układzie ręka – noga. Analiza Kruskalla – Wallisa względem prezentowanego przez badanych modelu lateralizacji kończyn wykazała, że poszczególne typy lateralizacji różnią się między sobą w dokładności wykonania zadania zarówno ręką dominującą, jak i nie dominującą ( $p= 0,006$ ,  $p= 0,002$ ). W przypadku ręki dominującej, zanotowano również istotne różnice międzygrupowe w czasie wykonania zadania ręką wiodącą ( $p=0,018$ ) 9por tabela nr 9

Wyniki dla ręki dominującej (liczba trafień ) istotnie różniły się pomiędzy osobami LR/LN a PR/LN z przewagą osób praworęcznych i lewonoznych. W przypadku liczby trafień w teście ręki nie dominującej największe różnice zanotowano pomiędzy grupami o przeciwnych kierunkach lateralizacji skrzyżowanej (modele C i D) oraz pomiędzy osobami prawostronnymi i praworęcznymi skrzyżowanymi. Sugeruje to znaczenie modelu lateralizacji kończyn w układzie ręka – noga dla wyników testowania samych kończyn górnych.

#### *Test TAP – test rytmizacji*

Test rytmizacji TAP, ze względu na istniejące w baterii WST możliwości techniczne został wykonany zarówno dla kończyn górnych jak i dolnych. W teście dla kończyn górnych nie zanotowano żadnych związków ani zależności współczynników asymetrii zarówno czasu



między kolejnymi uderzeniami rytmicznymi, ani tendencji do przyspieszania lub zwalniania wraz z upływem czasu testu.

W teście unilateralnym dla kończyn dolnych również nie zanotowano istotnego zróżnicowania wskaźników asymetrii w/w parametrów. Wyniki te wskazują na fakt, że ruch pod kontrolą analizatora słuchowego nie wykazuje ścisłych powiązań pomiędzy efektem wykonania zadania a lateralizacją kończyn. Analizując tendencję do przyspieszania lub zwalniania w fazie swobodnej testu rytmizacji wykonywanego kończynami dolnymi nie zanotowano istotnych różnic w jakości wykonania zadania przez osoby prawo i lewonożne. U wszystkich badanych widoczny było znaczne podobieństwo jakości wykonania zadania przez osoby o odmiennej dominacji kończyn dolnych (patrz wykres 18), współczynniki asymetrii wykazały zbliżone wartości dla obu grup badanych ( $p=0,59$ ). Ciekawym spostrzeżeniem jest jednak istnienie rozbieżności w jakości wykonania zadania nogą nie dominującą w grupie osób lewonożnych (model lateralizacji B i C –tu zanotowano największe osobnicze zróżnicowanie wyników. Jediną istotną zależnością pomiędzy asymetrią wykonania testu rytmizacji kończynami dolnymi była zależność asymetrii tendencji do przyspieszania lub zwalniania rytmu ruchu nogą prawą badanych niezależnie od ich dominacji funkcjonalnej w obrębie kończyn z dominacją funkcjonalną w obrębie kończyn górnych. Zależność jest zaskakująca, ale silnie istotna statystycznie ( $p=0,029$ ). Dla porównania wartość  $p$  w teście Manna-Whitneya tej samej zmiennej względem dominacji w obrębie kończyn dolnych wyniosła  $p= 0,58$ .

#### *Test RG – test reakcji*

Podesty szybkości reakcji w teście RG nie wykazały istotności w testach asymetrii dla kończyn wykonujących zadanie, jak i nie wykazały powiązań z modelem lateralizacji w układzie ręka –noga. W teście RG nie zanotowano istotnych różnic wartości współczynników asymetrii parametrów zarówno reakcji złożonej jak i prostej (czas reakcji, czas motoryczny, czas decyzji oraz odchylenia w/w parametrów) pod kątem dominacji funkcjonalnej kończyn wykonujących zadanie. Wyniki te świadczą o pewnej niezależności szybkości reakcji od dominacji kończyny wykonującej zadanie; w zadaniach testowych reakcja związana była z sygnałami świetlnymi, co wymuszało zaangażowanie analizatora wzrokowego w wykonanie zadania. W tych badaniach nie była brana pod uwagę lateralizacja oczu badanych ani inne aspekty kontroli wzrokowej zadania; fakt ten nie pozwala na jakiegokolwiek wnioskowanie dotyczące wzajemnych zależności lateralizacji i szybkości reakcji oraz jej składowymi. W przypadku analizy symetrii wyników uzyskanych przez przedstawicieli 4 modeli lateralizacji kończyn, również nie odnotowano żadnych istotnych statystycznie różnic. Stopień asymetrii wykonania zadania opartego na szybkiej reakcji na bodziec wzrokowy nie zależy więc od prezentowanego modelu lateralizacji ani w kończynach wykonujących zadanie, ani od modelu lateralizacji kończyn w układzie ręka-noga.

#### *Test FRITZ – test szybkości ruchu prostego*

Analiza wyników zadania związanego z prostym ruchem przywodzenia (P) i odwodzenia (O) w stawie łokciowym wykazała, że różnice stronne wykonania zadania istnieją, lecz są istotne w ujęciu statystycznym jedynie w grupie osób praworęcznych i dotyczą tylko ruchu przywodzenia w stawie łokciowym. Osoby leworęczne prezentowały względną symetrię wykonania zadania dominującą i nie dominującą ręką. Wyniki ukazane na wykresie 21 pozwalają stwierdzić, że tylko u osób praworęcznych wynik osiągnięty w czasie testowania

ręki dominującej był korzystniejszy. W grupie osób leworęcznych nie zanotowano tendencji do uzyskiwania lepszego wyniku ręką wiodącą. Porównanie wyników uzyskanych w grupach osób prawo i leworęcznych z zastosowaniem testu U Manna-Whitneya potwierdziły że grupa osób praworęcznych istotnie różni się od leworęcznych wyłącznie w przypadku testu przywodzenia ręki prawej ( $p=0,013$ ).

Nie zanotowano istotnych różnic wartości współczynników asymetrii pomiędzy dominującą i nie dominującą ręką badanych osób prawo i leworęcznych. Zarówno w przypadku ruchu przywodzenia jak i odwodzenia, wartości wskaźników asymetrii czasu wykonania zadania przyjmowały podobne wartości, co potwierdzono analizą Manna –Whitneya ( $p=0,10$  dla przywodzenia i  $p=0,11$  dla odwodzenia). Ciekawym spostrzeżeniem jest fakt, że pomimo podobnych wartości współczynników asymetrii, osoby leworęczne prezentowały większą symetrię w próbie przywodzenia, a osoby praworęczne w próbie odwodzenia. Analiza asymetrii stronnej wykonania zadania przywodzenia i odwodzenia w stawie łokciowym pod kątem prezentowanego przez badanych modelu lateralizacji kończyn w układzie ręka-noga pozwoliła na dokonanie następujących spostrzeżeń: Największą asymetrią cechowała się grupa prezentująca model lateralizacji typu A (PR/PN). Tylko jeden model lateralizacji (D, czyli LR/PN), związany był z dodatnią wartością współczynnika asymetrii dla testu przywodzenia w stawie łokciowym. Wszystkie inne modele lateralizacji prezentowały w wynikach ujemne wartości współczynnika asymetrii, co w przypadku zmiennej czasowej wyniku testu oznacza przewagę ręki dominującej. W teście odwodzenia największa asymetria stronna wykonania zadania została zaobserwowana w grupie osób o modelu lateralizacji D (LR/PN). Tylko osoby praworęczne i prawonożne wykazywały w tym teście przewagę stronną na korzyść ręki dominującej (ujemna wartość współczynnika asymetrii.) Analiza zależności modelu lateralizacji i stopnia asymetrii stronnej w wyniku testu FRITZ została dokonana przy zastosowaniu testu K-W. Nie wykazano znamienych różnic asymetrii pomiędzy czterema analizowanymi modelami lateralizacji kończyn, co potwierdzają otrzymane wartości  $p=0,20$  dla próby odwodzenia i  $p=0,24$  dla próby przywodzenia w stawie łokciowym.

### **Analiza wyników testów psychomotorycznych w poszczególnych grupach wiekowych**

Wyniki porównawcze testów psychomotorycznych w aspekcie wieku zostały wykonane wśród grupy osób praworęcznych i prawonożnych podzielonych na 3 podgrupy: podgrupę dzieci do lat 8 (11 przypadków), podgrupę osób dorosłych do lat 30 (31 przypadków) oraz podgrupę osób po 50 roku życia (10 przypadków). Liczebności w poszczególnych grupach wiekowych podyktowane były strukturą lateralizacji i liczbą osób zgłaszających się dobrowolnie na badania. W analizie wyników stosowano metody matematycznego opracowania stosowne dla grup badawczych o nierównych liczebnościach.

#### *test DG – test decyzji*

Wyniki porównania wskaźników asymetrii średniego czasu reakcji w teście decyzji DG wykonanym prawą i lewą ręką wykazały istotne zróżnicowanie. W teście Kruskalla-Wallisa wartość  $p=0,0007$  dla zmiennej czas reakcji, i  $p=0,0004$  dla zmiennej odchylenie czasu reakcji, co świadczy o znacznym zróżnicowaniu asymetrii pomiędzy trzema analizowanymi grupami wiekowymi (dzieci, osoby dorosłe do lat 30 i osoby po 50 roku życia). Analiza

danych szczegółowych (patrz tabela 14 oraz wykres 24 poniżej) pozwoliła na dokładną weryfikację wyników uzyskanych w poszczególnych grupach wiekowych. Osoby starsze wykazały największą asymetrię czasu reakcji w teście ręki dominującej i nie-dominującej. Największą symetrię pomiędzy jakością wykonania zadania ręką dominującą i nie dominującą zanotowano w grupie osób dorosłych. Dzieci były natomiast jedyną grupą wiekową, w której badani uzyskiwali lepszy wynik ręką wiodącą (w przypadku czasu reakcji dodatni znak wskaźnika asymetrii wskazuje na przewagę ręki niedominującej, ze względu na fakt, że w przypadku czasowych parametrów mniej = lepiej). Test Kruskalla-Wallisa potwierdził też istotność różnic wskaźnika asymetrii odchylenia standardowego czasu reakcji pomiędzy grupami wiekowymi ( $p=0,01$ ). Zanotowano też najmniejszą asymetrię odchylenia standardowego czasu reakcji pomiędzy dominującą i nie dominującą ręką w grupie dziecięcej. Świadczy to o największej jednorodności wyników uzyskanych dla dominującej i nie dominującej kończyny. Obserwacja ta nie znalazła potwierdzenia w istotnym wyniku testu post-hoc Tukeya dla różnych liczebności, co jednak nie wyklucza możliwości istnienia zależności asymetrii od wieku w tym aspekcie, ze względu na niewielką liczebność podgrupy badawczej dzieci i osób po 50 roku życia. Dodatkowe analizy jakości wykonania testu dominującą i nie dominującą ręką przez badanych wykonane przy pomocy testu kolejności par Wilcoxon wskazały na istotne różnice wyniku uzyskanego dla prawej i lewej ręki we wszystkich grupach wiekowych, co potwierdza występowanie znacznej asymetrii stronnej czasu reakcji jako generalnej tendencji u badanych zarówno w okresie rozwoju, stabilizacji i inwolucji osobniczej. Najkrótszy czas reakcji, zarówno w przypadku ręki dominującej jak i nie dominującej uzyskały osoby dorosłe do lat 30, przy czym lepsze wyniki (różnica istotna statystycznie) badani uzyskiwali dla ręki nie dominującej. Dzieci wykonywały natomiast lepiej zadanie ręką dominującą. Istotny statystycznie wynik w tym zakresie potwierdza, że u dzieci w wieku 7-8 lat proces rozwoju lateralizacji jeszcze trwa, pomimo wyraźnej już i wydawałoby się ustalonej preferencji kończyn.

Osoby starsze uzyskiwały wyniki nieco gorsze od osób do lat 30, jednakże prezentując tę samą przewagę ręki nie dominującej w jakości wykonania zadania.

Analiza post-hoc różnic pomiędzy poszczególnymi grupami wykazała istotne zróżnicowanie wyników pomiędzy dziećmi a osobami dorosłymi i seniorami. Nie zanotowano natomiast istotnych różnic w stopniu asymetrii pomiędzy dominującą i nie dominującą kończyną osób do lat 30 oraz osób starszych. Wyniki wskazują, że u osób powyżej 50 roku życia poziom zlateralizowania w funkcjach motorycznych nie zmienia się, ulega pogorszeniu (ze względu na proces starzenia się lub brak stymulacji czy kompensacji) jedynie jakość wykonania zadań ruchowych. Grupa seniorów charakteryzowała się największymi wartościami odchyżeń standardowych zarówno dla ręki dominującej jak i nie dominującej.

#### *Test MLS – test sprawności motorycznej*

W teście celowania zanotowano istotne różnice stronne zarówno szybkości jak i dokładności wykonywanego zadania we wszystkich grupach wiekowych. Istotność statystyczną wyników potwierdziły testy kolejności par Wilcoxon jak i porównanie wskaźnika szybkości – dokładności wykonania zadania ręką dominującą i przeciwną oraz współczynnik asymetrii dla wartości tych współczynników. Wykonanie zadania sprawiło największą trudność uczestnikom badań z grupy dziecięcej. Dzieci popełniły najwięcej błędów i wykonanie zadania zabrało im najwięcej czasu zarówno w przypadku ręki dominującej jak i nie dominującej.

Porównanie wyników uzyskanych dla obu rąk w grupie dzieci wykazało istotne różnice zarówno szybkości jak i dokładności wykonania zadania na korzyść ręki dominującej. Podobna zależność została wykazana w pozostałych grupach wiekowych: wszyscy badani wykonywali zadanie jakościowo lepiej ręką dominującą. W grupie dziecięcej różnice pomiędzy kończynami były jednak największe. Analiza wskaźników asymetrii pomiędzy kończynami wykonującymi zadanie przez przedstawicieli trzech grup wiekowych wykazała istotne zróżnicowanie asymetrii pomiędzy grupami, potwierdzone wynikiem istotnym testu Kruskalla-Wallisa. Testy post-hoc nie pozwoliły jednak określić, które grupy różnią się między sobą istotnie. Ciekawym spostrzeżeniem jest jednak niemal identyczna wartość średnia wskaźnika asymetrii szybkości i dokładności wykonania zadania przez przedstawicieli grupy osób dorosłych i dzieci do lat 8 (przy podobnych wartościach odchylenia standardowego). Pomimo znacznie gorszej ogólnej jakości wykonania zadania przez dzieci w porównaniu do osób dorosłych, dzieci i dorośli prezentowały zatem porównywalny poziom asymetrii ruchów w zakresie szybkości i dokładności. Wyniki obrazują zwiększoną asymetrię szybkości –dokładności wykonania zadania przez osoby starsze na korzyść ręki dominującej, co potwierdza uzyskaną również w innych testach wyraźną dominację koordynacyjną ręki wiodącej w tej grupie wiekowej.

W teście śledzenia liniowego zanotowano różnice w szybkości i dokładności wykonania zadania pomiędzy ręką dominującą i nie dominującą w grupach dzieci oraz osób starszych. W grupie osób dorosłych do lat 30 zarówno szybkość jak i dokładność wykonania zadania kształtowała się na podobnym poziomie w ręce dominującej i przeciwnej. Dokładność śledzenia liniowego oceniano na podstawie liczby błędów wykonanych w czasie całego testu, a szybkość na bazie czasu całkowitego testu. Dzieci wykazały przewagę ręki dominującej zarówno w szybkości jak i dokładności wykonania zadania, co potwierdziły wyniki testu kolejności par zarówno dla szybkości ( $p=0,016$ ) jak i dokładności wykonania zadania ( $p=0,0033$ ). Ta grupa uzyskała jednak najgorsze wyniki ze wszystkich grup wiekowych w jakości wykonania zadania. W grupie seniorów zanotowano istotne zróżnicowanie wyników pomiędzy kończynami zarówno w przypadku szybkości ( $p=0,007$ ) jak i dokładności śledzenia liniowego ( $p=0,007$ ). Ciekawym wynikiem w grupie seniorów jest istotna przewaga ręki nie dominującej, wykonującej zadanie i szybciej i dokładniej, czyli dokładnie odwrotnie niż w przypadku dzieci. Grupa dorosłych była jedyną grupą wiekową, w której nie zanotowano istotnych różnic pomiędzy jakością wykonania zadania ręką dominującą i nie dominującą. Nieco lepsze wyniki uzyskane zarówno w szybkości jak i dokładności śledzenia w czasie testowania ręki dominującej okazały się nieistotne statystycznie. Grupa osób dorosłych do lat 30 prezentowała zatem symetrię wykonania zadania prawą i lewą ręką. Generalnie, osoby dorosłe wykonały zatem zadanie najdokładniej, a osoby starsze najszybciej. Analiza różnic międzygrupowych jakości wykonania zadania została poprzedzona obliczeniem współczynników szybkości –dokładności śledzenia dla ręki dominującej i nie dominującej każdego badanego. Analiza Kruskalla –Wallisa wykazała co prawda istotność statystyczną różnic pomiędzy jakością wykonania zadania w trzech grupach wiekowych dla obu rąk (dominująca  $p=0,0103$ , nie dominująca  $p=0,000001$ ), ale dalsze analizy pozwoliły na stwierdzenie jednoznaczne, która grupa istotnie różni się od pozostałych wyłącznie w przypadku ręki nie dominującej. Testy post hoc Tukeya potwierdziły istotne różnice wyników dla ręki nie dominującej pomiędzy grupą dzieci a dorosłymi i seniorami. Nie zanotowano różnic pomiędzy grupą dorosłych i seniorów. Pomimo wyraźnej na wykresach różnicy szybkości i dokładności śledzenia ręką dominującą pomiędzy grupami

dzieci i dorosłych, wyciąganie jednoznacznych wniosków w tym zakresie wymaga dodatkowych badań. Warto jednak zwrócić uwagę na stopnie zróżnicowania stronnego jakości wykonania zadania. Grupa osób starszych prezentowała największą asymetrię całościowo ujętej jakości wykonania zadania, w dodatku na niekorzyść ręki dominującej. Kompleksową analizę asymetrii stronnej śledzenia liniowego w grupach wiekowych przeprowadzono obliczając wskaźniki asymetrii jakości wykonania zadania przez każdego badanego. Test Kruskalla-Wallisa wykazał istotny wynik dla zmiennej grupującej związanej z wiekiem badanych. Szczegółowe testy post-hoc Tukeya potwierdziły, że każda grupa wiekowa charakteryzuje się odmiennym poziomem asymetrii w jakości wykonania złożonego czasowo i przestrzennie zadania ruchowego. Biorąc pod uwagę, że wartość 0 jest tożsama z idealną symetrią stronną jakości wykonania zadania, najwyższe wartości współczynnika asymetrii zanotowano w grupie osób po 50 roku życia. W tej grupie wskaźnik asymetrii jako jedynej ze wszystkich przyjął wartość ujemną, co wskazuje na gorszą jakość całkowitą wykonania tego zadania ręką dominującą. W obu pozostałych grupach wartość współczynnika asymetrii była dodatnia, co potwierdza przewagę ręki dominującej. Dzieci prezentowały też większy stopień asymetrii stronnej jakości śledzenia niż osoby dorosłe. W teście wystukiwania zanotowano istotne różnice stronne wykonania zadania we wszystkich grupach wiekowych. Dzieci oraz dorośli wykonywali zadanie lepiej ręką dominującą. Jedynie w grupie seniorów wyniki kształtowały się odmiennie – w tej grupie wiekowej różnica między jakością wykonania zadania ręką dominującą i nie dominującą była najmniejsza (2 uderzenia), ale również istotna statystycznie. Lepszy wynik zanotowano tu dla kończyny nie dominującej. Największą liczbę uderzeń ręką dominującą w czasie 32 sekund testu, zgodnie z oczekiwaniami zanotowano w grupie osób dorosłych do lat 30, a najmniejszą u dzieci. W przypadku ręki nie dominującej najlepszy wynik uzyskały osoby po 50 roku życia. Analizując stopień asymetrii wykonania zadania ręką wiodącą i nie dominującą wykorzystano współczynnik asymetrii wystukiwania. Wartości współczynnika różniły się istotnie pomiędzy grupami wiekowymi, co potwierdziła analiza testem Kruskalla-Wallisa. Ujemna wartość asymetrii wystukiwania dla grupy seniorów wskazuje na przewagę ręki nie dominującej w tym zakresie. Najwyższą wartość wskaźnika zanotowano w grupie dzieci do lat 8. Osoby dorosłe w tych badaniach wykazały się najmniejszą asymetrią jakości wykonania zadania, co nie zmienia faktu, że wynik dla ręki dominującej był w tej grupie lepszy u wszystkich badanych.

#### *test RG – test reakcji*

Wyniki testu reakcji prostej na bodziec wzrokowy w trzech grupach wiekowych wykazały zróżnicowane wyniki

Generalnie, badani uzyskiwali najmniejsze wartości czasowe czasu motorycznego (czas ruchu ręki od klawisza spoczynku do klawisza reakcji). Najlepsze wyniki w tym zakresie uzyskali badani z grupy osób dorosłych do lat 30. We wszystkich grupach wiekowych zaobserwowano tendencję do uzyskiwania lepszego wyniku ręką dominującą, ale w grupie osób dorosłych różnice pomiędzy czasem motorycznym prawej i lewej ręki była nieistotna statystycznie

Test Kruskalla – Wallisa (K-W) potwierdził istotność różnic stopnia asymetrii czasu motorycznego pomiędzy poszczególnymi grupami wiekowymi. Asymetrię, podobnie jak w przypadku innych parametrów oceniono za pomocą współczynnika asymetrii pomiędzy dominującą i nie dominującą kończyną (DN M TM). Wartość p w teście K-W wyniosła p

=0,0003, co wskazuje wysoką istotność różnic asymetrii pomiędzy grupami, a pośrednio potwierdziła zależność czasu motorycznego od wieku badanych. Największą asymetrię zanotowano w grupie seniorów a najmniejszą w grupie osób dorosłych, przy zachowanej tendencji do uzyskiwania lepszego wyniku ręką dominującą. Testy post hoc Tukeya dla nierównych liczebności potwierdziły istotność różnicy asymetrii czasu motorycznego pomiędzy grupą osób dorosłych i starszych (HSD NIR=0,016).

We wszystkich grupach wiekowych zaobserwowano korzystniejsze wartości czasu decyzji (TD) dla ręki nie dominującej, ale tylko w grupie osób dorosłych ta tendencja została potwierdzona statystycznie (wartość p w teście kolejności par Wilcoxon  $<0,05$ ). Najkrótsze czasy decyzji niezależnie od testowanej ręki zanotowano w grupie seniorów, a najdłuższe w grupie dziecięcej. Test Kruskalla-Wallisa wykazał brak różnic pomiędzy wartościami współczynników asymetrii uzyskanymi dla poszczególnych grup wiekowych ( $p=0,092$ ). Pomimo istnienia różnic międzygrupowych w tym zakresie (największa asymetria występująca w grupie seniorów, tabela 27), uzyskany wynik testu K-W nie pozwala na wnioskowanie o zależności asymetrii czasu decyzji od wieku. W świetle uzyskanych wyników wydaje się jednak, że czas decyzji w reakcji na bodziec wzrokowy nie jest ściśle powiązany z modelem lateralizacji kończyn i jego dynamiką w funkcji wieku, ale może być ściśle związany z funkcjami analizatora wzrokowego.

Czas reakcji (TR) jest wypadkową czasu decyzji i czasu motorycznego, we wszystkich grupach wiekowych ten parametr osiągnął najwyższe wartości liczbowe. Jediną grupą wiekową, w której zanotowano istotne różnice pomiędzy prawą i lewą ręką była grupa dziecięca, z wyraźną przewagą ręki nie dominującej, której wyniki były o wiele korzystniejsze. W pozostałych grupach wiekowych różnice pomiędzy czasem reakcji ręki dominującej i nie dominującej były nieistotne, chociaż zauważalna była generalna tendencja do przewagi ręki nie dominującej, podobnie jak u dzieci. Analiza różnic międzygrupowych wartości wskaźnika asymetrii czasu reakcji (test K-W) wykazał istotność na poziomie  $p=0,0014$ . Dokładne analizy post hoc pozwoliły stwierdzić, że dorośli i seniorzy prezentowali w tych badaniach podobny poziom asymetrii ręki dominującej i nie dominującej ( $p=0,99$ ), natomiast znacznie różniły się od siebie stopniem asymetrii grupy dorosłych i seniorów od grupy dzieci (seniorzy –dzieci  $p=0,031$ , dorośli –dzieci  $p=0,026$ ). Wydaje się zatem że asymetria czasu reakcji zmniejsza się wraz z wiekiem do uzyskania dorosłości. Biorąc pod uwagę składowe czasy reakcji wydaje się też, że na dynamikę tej symetryzacji wpływa ogólna tendencja zmniejszanie asymetrii czasu motorycznego wraz z wiekiem i zwiększanie asymetrii czasu decyzji po 50 roku życia.

Analiza wyników uzyskanych przez poszczególne grupy wiekowe w teście reakcji złożonej (RG4) wykazała brak istotnych różnic w stopniu asymetrii pomiędzy dominującą i nie dominującą kończyną w teście reakcji złożonej na bodziec wzrokowo- słuchowy zarówno w aspekcie dominacji w obrębie kończyn wykonujących zadanie ( $p=0,61$  dla czasu reakcji i  $p=0,70$  dla odchylenia czasu reakcji złożonej) jak i w aspekcie modelu lateralizacji kończyn w układzie ręka –noga ( $p=0,79$  dla czasu reakcji i  $p=0,31$  dla odchylenia czasu reakcji złożonej). Zaobserwowana tendencja do większej asymetrii stronnej osób leworęcznych nie znalazła potwierdzenia w analizie matematycznej. Wydaje się, w świetle uzyskanych wyników, że czas reakcji nie podlega bezpośrednim wpływom lateralizacji kończyn wykonujących zadanie, ani nie jest zależny od prezentowanego modelu lateralizacji w układzie ręka-noga.

## **Analiza wyników badania reakcji neurofizjologicznych w aspekcie lateralizacji kończyn**

Analiza wyników badań reakcji neurofizjologicznych na sztucznie wywołany bodziec elektryczny miała na celu ocenę wzajemnych związków i/lub zależności modelu lateralizacji kończyn badanych z mechanizmami kontroli motorycznej na poziomie peryferycznym. Zastosowane testy Manna –Whitneya oraz Kruskalla- Wallisa pozwoliły wyodrębnić te parametry odpowiedzi ruchowej kończyn górnych i dolnych, które wykazały powiązania z dominacją w obrębie kończyn testowanych lub/i z modelem lateralizacji kończyn w układzie ręka –noga.

Testy wykonane w obrębie kończyn górnych wykazały brak istotnych różnic pomiędzy wynikami uzyskanymi dla prawej i lewej ręki w teście kolejności par Wilcoxon. Zanotowano co prawda różnice pomiędzy szybkością przewodzenia ruchowego pomiędzy dominującą i nie dominującą kończyną u badanych osób praworęcznych na korzyść ręki nie dominującej, ale efekt ten nie był istotny statystycznie.

Wyniki są zgodne z rezultatami podobnych eksperymentów wykonanych przez innych autorów, którzy wskazują na względną symetrię reakcji wywołanych w kończynach górnych. Asymetrie kontroli motorycznej kończyn górnych bada się obecnie technikami TMS, fMRI i PET, gdyż tylko przy zastosowaniu zaawansowanych technik obrazowania mózgu w czasie aktywności można ocenić poziom aktywacji struktur i funkcji półkul mózgowych i uchwycić asymetrię w tym zakresie. W naszych badaniach, ze względu na brak dostępu do technik oceny kontroli motorycznej na poziomie centralnym skupiono się na ewaluacji pośredniej mechanizmów kontroli motorycznej na poziomie rdzeniowym. Założono, że zgodnie z hipotezą common core (wspólnego rdzenia) kontroli motorycznej (Zehr, 2005), asymetria kontrolnych mechanizmów za poziomie peryferycznym odzwierciedlać będzie – przynajmniej częściowo – mechanizmy sterowania i regulacji ruchami człowieka na innych poziomach systemu. Analizom szczegółowym poddano obliczone wg algorytmu współczynniki asymetrii wyników pomiędzy prawą i lewą (dominującą i nie dominującą) kończyną dolną. Analiza pod kątem dominacji funkcjonalnej kończyn wykonujących zadanie wykonana za pomocą testu U Manna-Whitneya pozwoliła wyodrębnić 3 parametry, których asymetria stronna wykazała istotność statystyczną różnic. Były to następujące parametry: współczynnik asymetrii latencji początkowej odpowiedzi motorycznej PL LAT, współczynnik asymetrii latencji początkowej późnej odpowiedzi motorycznej (odruchu H) PL AMP H oraz współczynnik asymetrii szybkości przewodzenia czuciowego (afferentnego) PL VS.

Szczegółowa analiza poszczególnych parametrów pozwoliła ustalić, że asymetria pomiędzy prawą i lewą kończyną dolną wykonującą zadanie wystąpiła we wszystkich analizowanych parametrach bezpośredniej odpowiedzi motorycznej. Istotność statystyczną różnic zanotowano jednakże jedynie w przypadku asymetrii latencji początkowej bezpośredniej odpowiedzi motorycznej (odpowiedzi M). Osoby prawonożne charakteryzowały się istotnie wyższym poziomem asymetrii w zakresie latencji początkowej fali M niż lewnożne. W kończynie nie dominującej w tej grupie badanych latencja była znacząco dłuższa. W grupie osób lewnożnych zanotowano podobną tendencję, jednak ze względu na znacznie większy rozrzut wyników w grupie nie zdołano wykazać istotności statystycznej tej tendencji.

W celu określenia powiązań parametrów bezpośredniej odpowiedzi ruchowej (odpowiedzi M) z modelem lateralizacji kończyn badanych w układzie ręka-noga wykonano analizy testem Kruskalla-Wallisa, gdzie zmienną grupującą był model lateralizacji. Żaden z wziętych pod uwagę parametrów fali M (latencja, czas trwania, amplituda) nie wykazał istotnego zróżnicowania w badanym zakresie ( $p < 0,05$ ). Nie zanotowano też istotnych różnic pomiędzy poszczególnymi modelami lateralizacji w zakresie stopnia asymetrii rezultatów uzyskanych dla dominującej i nie dominującej kończyny. Wydaje się zatem, że zależność lateralizacji i procesów przewodzenia ruchowego, jeśli istnieje, to jest procesem bardziej skomplikowanym i wieloaspektowym, niemożliwym do dokładnego określenia za pomocą prostych prób z wykorzystaniem potencjałów wywołanych.

Analiza wyników pozwala jednak na obserwację, że modele lateralizacji jednorodnej wykazały tendencję do większej asymetrii niż inne grupy modelowe w przypadku amplitudy zarejestrowanej odpowiedzi, na korzyść kończyny dominującej. (wykres 40) Może to świadczyć o tendencji do uzyskiwania większego potencjału skurczowego w kończynie dominującej u osób o wyraźnej dominacji jednej strony ciała. Brak istotności statystycznej tego wyniku pozostawia jednak takie wnioskowanie wyłącznie w sferze hipotezy. Brak uzyskania istotności wyniku łączy się tu prawdopodobnie z faktem, że badani poddawani byli różnym wpływom stymulacyjnym w zakresie aktywności ruchowej i prezentowali różne odmiany struktury mięśniowej.

Zarówno osoby prawo jak i lewonożne charakteryzowały się generalnie krótszą latencją odpowiedzi H w kończynie nie dominującej (średnia  $32,35 \pm 4,05$ ; w porównaniu średnia osób prawonożnych  $33,29 \pm 2,66$ ), ale testy kolejności par Wilcoxon nie potwierdziły istotności tej obserwacji ( $p = 0,15$  dla osób prawonożnych i  $p = 0,08$  dla osób lewonożnych) Analiza późnej ortodromowej odpowiedzi ruchowej (odpowiedź H) wykazała istotne zróżnicowanie współczynnika asymetrii latencji tej odpowiedzi w zależności od dominacji w obrębie testowanych kończyn. (tabela 29). Dominacja lewej kończyny dolnej związana była istotnie z wyższym poziomem asymetrii stronnej w zakresie latencji odpowiedzi H, co pośrednio potwierdza istnienie zależności pomiędzy dominacją kończyny a parametrami czasowymi odpowiedzi ruchowej.

Biorąc pod uwagę wyłącznie dominację kończyn dolnych nie zanotowano istotnych różnic pomiędzy wartością bezwzględną amplitudy odpowiedzi H u osób prawo i lewonożnych oraz czasie trwania odpowiedzi. Również nie znaleziono przesłanek do wnioskowania o zróżnicowaniu asymetrii amplitud i czasu trwania reakcji uzyskanych w prawej i lewej kończynie dolnej.

Ciekawych wyników dostarczyła jednakże wybiórcza analiza amplitud odpowiedzi motorycznych w grupie wyselekcjonowanych osobników prawostronnych (PR/PN) i lewostronnych (LR/LN). Selekcja dotyczyła stopnia dominacji w zakresie kończyn górnych i dolnych. Przeanalizowano grupy badanych prezentujących silną lateralizację (maksymalne wartości indeksu lateralizacji oraz wskaźnika całkowitej funkcji kończyny prawej – dla osób prawostronnych i minimalne dla lewostronnych). Wyniki ukazały istotne zróżnicowanie współczynników asymetrii pomiędzy dwoma skrajnie przeciwnymi modelami lateralizacji kończyn w latencji i amplitudzie odpowiedzi H ( w teście Manna-Whitneya  $p = 0,035$  i  $p = 0,043$ ) (wykres 43) Zanotowano też istotne zróżnicowanie amplitudy odruchu Hoffmanna pomiędzy prawą i lewą kończyną w obu badanych grupach (tabela 33), z wyraźną przewagą



amplitudy w kończynie nie dominującej. Zmniejszenie amplitudy odpowiedzi H było charakterystyczne przede wszystkim dla grupy osób o lateralizacji prawostronnej- u wszystkich badanych amplituda potencjałów wywołanych w kończynie nie dominującej była większa. W przypadku osób o lateralizacji lewostronnej ta tendencja również była wyraźnie zaznaczona, ale niektórzy badani prezentowali jednak bądź symetrię amplitudy bądź niewielką przewagę kończyny dominującej.

W analizie skrzyżowanych modeli lateralizacji w układzie ręka- noga nie zanotowano żadnych wyraźnych tendencji w tym zakresie, co może świadczyć o odmiennej organizacji kontroli motorycznej jednorodnych i skrzyżowanych typów lateralizacji kończyn.

W celu oceny zależności parametrów potencjałów mięśniowych wywołanych sztucznym drażnieniem nerwu obwodowego dokonano analizy uzyskanych wyników pod kątem modelu lateralizacji w układzie ręka –noga prezentowanego przez badanych. Analiza Kruskalla-Wallisa pozwoliła stwierdzić, że istotne zróżnicowanie wykazuje współczynnik asymetrii latencji odpowiedzi H pomiędzy poszczególnymi modelami lateralizacji.

Dalsze analizy post hoc nie pozwoliły jednak wyodrębnić statystycznie istotnie różniących się modeli lateralizacji. Wydaje się jednak, że badani prezentujący skrzyżowane modele lateralizacji w układzie ręka – noga prezentowali wyższe poziomy asymetrii tego parametru reakcji ruchowej .Zróżnicowane wartości osobnicze amplitud odpowiedzi H nie pozwoliły na dokładne określenie różnic asymetrii tego parametru pomiędzy poszczególnymi modelami lateralizacji kończyn (brak istotności statystycznej w teście K-W), Zauważono jednak – podobnie jak w przypadku latencji odpowiedzi H generalnie wyższy poziom asymetrii prezentowany przez przedstawicieli skrzyżowanych modeli lateralizacji.

W przypadku czasu trwania odpowiedzi odruchowej opóźnionej (odruch Hoffmanna) nie zanotowano istotnych różnic asymetrii stronnej tego parametru w aspekcie modelu lateralizacji kończyn ( $p= 0,35$  w teście K-W)

Ciekawych wyników dostarczyła analiza wyników w zakresie szybkości przewodzenia ruchowego ( $V_m$ ) i czuciowego ( $V_s$ ).

W grupie osób prawonożnych zanotowano istotne różnice pomiędzy wynikami w zakresie szybkości przewodnictwa ruchowego ( $V_m$ ) prawej i lewej kończyny dolnej. Wyniki testu kolejności par Wilcoxon ( $p=0,006$ ) świadczą o wyraźnej zależności lateralizacji w obrębie kończyn dolnych z szybkością przewodnictwa ruchowego u osób prawonożnych- na korzyść nogi dominującej. W grupie osób lewonożnych nie zanotowano istotności różnic w tym zakresie ( $p=0,64$ ), aczkolwiek zaobserwowano podobną tendencję (szybsze przewodnictwo w kończynie dominującej). W zakresie przewodnictwa czuciowego ( $V_s$ ) wykazano istotność różnic pomiędzy wynikiem prawo i lewonożnych osób tylko w teście kolejności par Wilcoxon dotyczącym osób lewonożnych ( $p= 0,032$ ). Na wykresie 46 uwidocznione są podobieństwa wyniku osób prawo i lewonożnych – w obu grupach zanotowano szybsze przewodnictwo czuciowe w kończynie nie dominującej. W tym teście uzyskano jednak istotność wyniku jedynie dla grupy osób lewonożnych.

W celu określenia stopnia asymetrii stronnej wyników w zakresie szybkości przewodzenia aferentnego i eferentnego, wykonano analizę współczynników asymetrii dla parametrów  $V_m$  i  $V_s$  pod kątem dominacji kończyn dolnych badanych. Test Manna-Whitneya potwierdził, że różnice asymetrii szybkości przewodzenia czuciowego ( $V_s$ ) pomiędzy osobami prawo i

lewonożnymi są istotne statystycznie na poziomie  $p < 0,05$  ( $p = 0,02$ ). Osoby lewonożne cechowały się wyraźnie odmiennym kierunkiem asymetrii stronnej niż osoby prawonożne. W przypadku szybkości przewodnictwa czuciowego Vs różnica ta okazała się istotna. W przypadku Vm nie zanotowano istotności różnic asymetrii ( $p = 0,19$ ), lecz warto odnotować, że generalnie poziomy asymetrii obu grup nie były drastycznie zróżnicowane; w grupie osób lewonożnych zanotowano jednak większe zróżnicowanie między osobnicze wyników

Test Kruskalla-Wallisa wykazał, że istnieje istotne zróżnicowanie asymetrii szybkości przewodzenia czuciowego Vs pomiędzy poszczególnymi grupami badanych reprezentujących różne modele lateralizacji w układzie ręka-noga. ( $p = 0,02$ ) i brak istotnego zróżnicowania asymetrii przewodzenia ruchowego ( $p = 0,19$ ) Wstępna analiza wartości wskaźników asymetrii parametru Vs pozwoliła stwierdzić, że osoby prezentujące modele lateralizacji skrzyżowanej w układzie ręka-noga charakteryzowały się większym zróżnicowaniem stronnym szybkości przewodzenia zarówno ruchowego jak i czuciowego w porównaniu z osobami o lateralizacji jednorodnej, o czym świadczą wyższe wartości współczynnika asymetrii.

Dalsze analizy skierowane na wyodrębnienie tych modeli lateralizacji, które istotnie różnią się od siebie stopniem asymetrii szybkości przewodzenia czuciowego (testy post-hoc Tukeya dla nierównych liczebności) nie pozwoliły na jednoznaczne wyodrębnienie jakiegokolwiek modelu jako prezentującego największą asymetrię w tym zakresie. Biorąc pod uwagę fakt, że wszyscy badani byli osobami zdrowymi, każdy stopień asymetrii stronnej mieścił się w granicach akceptowalnych. Dotychczas nie została stworzona jakakolwiek klasyfikacja stopni asymetrii w ramach normy, co bardzo utrudnia wnioskowanie w przypadku neurofizjologicznych badań lateralizacji.

Analizując wyniki szczegółowe przewodnictwa ruchowego i czuciowego w poszczególnych grupach badanych zaobserwowano, że we wszystkich grupach wartości przewodzenia czuciowego były niższe niż ruchowego, oraz że modele lateralizacji skrzyżowanej prezentują odmienny obraz szybkości przewodzenia w kończynie dominującej i nie dominującej.

### **Wyniki porównawcze EMG 3 grup wiekowych**

Analiza wyników badań EMG w trzech grupach wiekowych (osoby dorosłe do lat 30; dzieci do lat 8 oraz osoby po 50 roku życia) została wykonana wyłącznie dla osób praworęcznych i prawonożnych za pomocą nieparametrycznych testów: kolejności par Wilcoxon'a w celu określenia istotności różnic wyników poszczególnych parametrów w każdej grupie wiekowej oraz testu Kruskalla-Wallisa w celu określenia istotności różnic wyników pomiędzy poszczególnymi grupami wiekowymi.

Analizowano zarówno parametry bezpośredniej odpowiedzi motorycznej na drażnienie nerwu mieszanego (fali M) jak i odpowiedzi późnej związanej z wywołanym w kończynach odruchem Hoffmanna. Analizę porównawczą przeprowadzono dla wyników uzyskanych w czasie testowania kończyn dolnych.

Analizując parametry bezpośredniej odpowiedzi motorycznej (fali M) w poszczególnych grupach wiekowych, zanotowano istotne różnice wyników pomiędzy prawą i lewą kończyną w poszczególnych grupach wiekowych. Generalnie dzieci wykazały istotne stronne zróżnicowanie w zakresie parametrów czasowych odpowiedzi motorycznej (latencja początkowa M i czas trwania M). Brak zróżnicowania stronnego w zakresie amplitudy odpowiedzi M prawdopodobnie spowodowana została przez w miarę symetryczną stymulację

obu kończyn u dzieci. Ciekawy wynik uzyskano w zakresie czasu odpowiedzi u dzieci wykazujący wyraźną różnicę pomiędzy lewą i prawą kończyną dolną na korzyść nogi dominującej. W celu dokładniejszego określenia stopnia asymetrii pomiędzy poszczególnymi grupami wiekowymi obliczono współczynniki asymetrii dla wszystkich parametrów bezpośredniej odpowiedzi motorycznej M. We wszystkich grupach wiekowych współczynnik asymetrii wykazał wartość ujemną w przypadku latencji początkowej fali M, co oznacza przewagę kończyny nie –dominującej w tym zakresie. Test Kruskalla-Wallisa wykazał, że brak jest istotnych różnic w asymetrii latencji początkowej pomiędzy poszczególnymi grupami wiekowymi ( $p=0,2$ ). Analiza parametrów odruchu Hoffmanna w poszczególnych grupach wiekowych wykazała, że niezależnie od wieku badanych zróżnicowaniu stronnemu pomiędzy dominującą a nie dominującą kończyną podlegała latencja wtórnej odpowiedzi motorycznej. W przypadku amplitudy odpowiedzi H zaobserwowano względną symetrię tego parametru w grupie dziecięcej. Przyczyną owej symetrii wydaje się być wiek badanych i nie zakończony jeszcze w tym wieku proces lateralizacji funkcjonalnej, co może mieć pośredni wpływ na mechanizmy kontroli motoryki. W przypadku czasu odpowiedzi H nie zanotowano w badanej grupie dorosłych istotnych różnic stronnych, przy jednoczesnej istotności różnic latencji. Ze względu na fakt, że czas trwania odpowiedzi oraz jego latencja mają związek z właściwościami łuku odruchowego jakim jest odruch Hoffmanna, wyjaśnienie takiego obrazu wyników związane jest z tym, jakie czynniki modulacyjne miały wpływ na kontrolę reakcji odruchowej w badanej grupie.

Biorąc pod uwagę, że wraz z wiekiem badanych wzrastał stopień współzależności wyników aktywności EMG (odpowiedź M) i wyników odruchu Hoffmanna (odpowiedź H), można wysnuć wstępny wniosek o zwiększaniu się wraz z wiekiem wpływów sterowania centralnego na przebieg reakcji ruchowej wraz z wiekiem (tabela 42). Podobne zależności parametrów odpowiedzi M i H obserwowane były przez innych autorów w czasie aktywności ruchowej i były podobnie interpretowane (Knikou, Rymer, 2002). Na uwagę zasługuje jednak brak korelacji asymetrii EMG i odruchu H, w żadnej grupie wiekowej. Wydaje się zatem, że asymetria reakcji odruchowych i bezpośrednich może być związana z innymi czynnikami. Bezpośrednia reakcja mięśniowa (fala M) zależy w dużej mierze od budowy mięśnia i jego struktury np. układem włókien mięśniowych, stopniem hipertrofii, co jest z kolei związane z modelem aktywności ruchowej danej osoby. W celu prawidłowej i pełnej analizy uzyskanych wyników należałoby zatem wziąć pod uwagę również czynniki środowiskowe i społeczne wpływające na budowę i funkcję aparatu ruchu osób we wszystkich analizowanych grupach wiekowych.

W celu oceny zróżnicowania współczynników asymetrii parametrów odruchu Hoffmanna pomiędzy przedstawicielami poszczególnych grup wiekowych dokonano analizy wariancji wyników testem Kruskalla-Wallisa. Istotne różnice pomiędzy grupami wiekowymi zanotowano w przypadku amplitudy odpowiedzi H ( $p=0,0016$ ) oraz latencji H ( $p=0,0022$ ). Asymetria czasu trwania odpowiedzi odruchowej okazała się nieistotna statystycznie ( $p=0,09$ ). Największe zróżnicowanie w zależności od wieku zanotowano w przypadku amplitudy odpowiedzi H. Testy post-hoc pozwoliły określić, że grupa osób dorosłych istotnie różniła się w stopniu asymetrii amplitudy H od osób starszych. Seniorzy wykazywali przeciwny kierunek współczynnika asymetrii niż dorośli tzn. wykazywali wyższe wartości amplitudy dla kończyny prawej (dominującej), czyli dokładnie odwrotnie jak w przypadku osób dorosłych. Przyjmując, że wiek jest przyczyną tej zmiany można domniemywać o wpływie procesów inwolucyjnych na system regulacji odruchów rdzeniowych; zjawisko to

wymaga jednak osobnych badań. W przypadku latencji H istotne zróżnicowanie asymetrii potwierdzono pomiędzy osobami dorosłymi i seniorami. Grupa osób starszych wykazała też istotne różnice asymetrii latencji z grupą dziecięcą. Dzieci w naszych badaniach prezentowały natomiast prawie idealną symetrię zarówno amplitudy jak i latencji H w obu kończynach. Wynik ten pośrednio potwierdza prawdopodobieństwo prawdziwości naszej hipotezy o tym, że asymetria reakcji ruchowych zwiększa się wraz z wiekiem w związku z usprawnieniem aferentacji z efektorów w miarę zdobywania doświadczeń ruchowych w ontogenezie.

Analiza szybkości przewodzenia ruchowego ( $V_m$ ) i czuciowego ( $V_s$ ) w aspekcie wieku wykazała istotne różnice w tym względzie wyłącznie w szybkości przewodzenia czuciowego zarówno kończyny dominującej jak i nie dominującej. ( $p < 0,000001$ ). Istotność wykazał też stopień asymetrii przewodnictwa czuciowego pomiędzy prawą i lewą kończyną w funkcji wieku badanych (test Kruskalla-Wallisa  $p = 0,0069$ )

### **Zależność wyników WST od EMG**

Współczynniki asymetrii parametrów WST, FRITZ i EMG wykazujące największe i istotne zróżnicowanie między poszczególnymi kategoriami lateralizacji (wystukiwanie, śledzenie liniowe, celowanie) wykorzystane zostały do utworzenia zmiennej agregatowej charakteryzującej lateralizację. Zastosowana tu została analiza rzetelności i pozycji. Dla wybranych zmiennych miała zostać podjęta próba wyznaczenia wartości progowych asymetrii pozwalających klasyfikować badanych do poszczególnych grup lateralizacji, ze szczególnym uwzględnieniem parametrów uzyskanych w badaniu EMG.

Próba stworzenia zmiennej agregatowej na podstawie współczynników asymetrii niestety nie powiodła się.

Analiza korelacji współczynników asymetrii WST ze współczynnikami asymetrii EMG i odruchu H nie wykazała istotnych powiązań.

Uzyskane wyniki niestety nie pozwoliły na bezpośrednie wnioskowanie o przydatności testów psychomotorycznych do oceny neurofizjologicznego podłoża lateralizacji i odwrotnie. Uzyskane wyniki analiz korelacyjnych wskazują jednoznacznie na wielce złożony charakter zjawiska lateralizacji człowieka w funkcjach motorycznych. Analizy procesów kontrolnych motoryki kończyn człowieka w świetle przeprowadzonych badań nie powinny być ograniczane do jednego poziomu sterowania (np. rdzeniowego), gdyż każdy ruch i jego parametry są prawdopodobnie efektem interakcji wszystkich elementów systemu sterowania i regulacji ruchami. Brak jakichkolwiek korelacji asymetrii ruchów kończyn górnych i asymetrii przewodnictwa ruchowego i czuciowego badanych w kończynach dolnych może świadczyć o odmiennej organizacji kontroli motorycznej kończyn górnych i dolnych; związanej z odmienną aferentacją w kończynach dominujących i nie dominujących i sugerowanymi w literaturze większymi wpływami sterowania centralnego w kontroli ruchów kończyn górnych i większymi wpływami mechanizmów sterowania na poziomie rdzeniowym w kończynach dolnych (np. związanymi z działaniem pętli gamma w odruchach posturalnych i typowej dla człowieka lokomocji). W celu utworzenia zmiennej agregatowej oceny lateralizacji należy w przyszłości opracować osobne zestawienia dla kończyn górnych i dolnych.

## WNIOSKI Z BADAŃ I KIERUNKI DALSZYCH POSZUKIWAN BADAWCZYCH

Badania wykazały wyraźnie, że wybiórcze testy reakcji ruchowych nie wyjaśniają mechanizmu lateralizacji motorycznej w sposób wystarczający, niezbędne w dalszym postępowaniu badawczym będzie zatem zastosowanie nowoczesnych technik obrazowania pracy mózgu in vivo np. technik PET, SPECT lub FMRI. Równie interesujące byłyby badania korowo –mięśniowej synergii (cortico –muscular coherence, CMC), polegające na badaniu aktywności sygnałów mózgowych (badanie EEG) podczas aktywności mięśni (badanie EMG), równocześnie. Stosowanie wyłącznie peryferycznych pomiarów (zarówno elektroneurofizjologicznych jak i reakcji psychomotorycznych) nie jest w stanie wyjaśnić tak złożonego zjawiska. Realizacja projektu potwierdziła, że w przypadku badań lateralizacji w funkcjach motorycznych testy psychomotoryczne o charakterze unilateralnym pozwalają na ograniczone wnioskowanie o mechanizmach kontroli motorycznej. Ruch i jego parametry końcowe są efektem interakcji wieku czynników mających znaczenie w procesie kontroli motorycznej. W przypadku zastosowanych w tych badaniach zadań niezbędnym wydaje się wzięcie pod uwagę roli analizatora wzrokowego w procesie motorycznej kontroli, Zadania z wykorzystaniem bodźców świetlnych lub słuchowych na ekranie monitora (RG, DG, FRITZ, TAP), jakie zostały tu zastosowane tylko w nielicznych przypadkach wykazały jednoznaczne wyniki w zakresie dominacji stronnej kończyn wykonujących zadanie. W wielu testach wiodąca rola analizatorów wzrokowego i słuchowego w procesie wykonania zadania była przeszkodą w pełnej ocenie uzyskanych wyników. Wnioskowanie o mechanizmach kontrolnych ruchu było w większości testów kończyn górnych wręcz niemożliwe ze względu na istnienie lateralizacji wzrokowej i słuchowej, która nie była w naszych badaniach oceniana. Udało się jednak wyodrębnić z baterii zastosowanych testów psychomotorycznych te, które pozwalają na dokładną ocenę lateralizacji funkcjonalnej w obrębie kończyn górnych, co jest znakomitą efektem aplikacyjnych naszych badań.(opis poniżej)

Wyniki uzyskane projekcie potwierdzają jednak niezbicie, że zarówno model lateralizacji kończyn w układzie ręka – noga jak i dominacja funkcjonalna kończyn wykonujących zadanie mają niezaprzeczalne znaczenie w jakości wykonywania zadań ruchowych – jako czynnik modulacyjny w procesie sterowania i regulacji ruchami. Jednak wyniki naszych badań wskazują, że w procesie kontroli motorycznej ruchów człowieka znaczenie mają nie tylko czynniki związane z procesem przewodzenia bodźców w układzie nerwowym (eferentne i aferentne), ale także procesy regulacyjne związane z odbiorem i analizą informacji zwrotnych z efektorów (mięśni) na różnych poziomach sterowania. Rozpoznanie całego systemu kontroli motorycznej w aspekcie lateralizacji wymaga zatem badań interdyscyplinarnych i szeroko zakrojonych. W naszych badaniach wykazaliśmy, że kontrola odruchów rdzeniowych (odruchu H) wykazuje zlateralizowanie w zależności od modelu lateralizacji kończyn. Wynik ten potwierdza, że przewaga funkcjonalna jednej z parzystych kończyn (niezależnie od tego, czy przewaga ta jest rezultatem czynników genetycznych czy środowiskowych) wpływa poprzez czuciowe sprzężenie zwrotne na wyższe ośrodki sterowania ruchem. Wyraźna depresja amplitudy odruchu Hofmanna jak i różnice w szybkości przewodzenia czuciowego są naszym zdaniem efektem hamowania reakcji odruchowych w kończynach dominujących spowodowanych większymi wpływami sterowania z wyższych ośrodków układu nerwowego (kory mózgowej). Zmiany na poziomie korowym są natomiast prawdopodobnie efektem modulacji systemu sterowania spowodowanej funkcjonalną przewagą jednej z parzystych kończyn. Nasze wyniki i ich interpretacja potwierdzają zasadność prezentowanej wcześniej w literaturze teoretycznej,

holistycznej koncepcji sterowania ruchem na zasadzie systemu sprzężeń zwrotnych (Teoria N. Bernsteina, opisana szczegółowo w osobnych publikacjach). Na podstawie uzyskanych wyników zgadzamy się z główną tezą tej teorii, mówiącą o tym, że kontrola motoryczna człowieka jest układem dynamicznym o strukturze hierarchicznej i równoległej zarazem, w którym informacje ze środowiska oraz z poszczególnych poziomów sterowania (peryferyczny, rdzeniowy, poziom centralnych generatorów wzorców ruchowych, i wreszcie kory mózgowej) mają permanentny wpływ na system kontroli motorycznej. Naszym zdaniem lateralizacja kończyn jest jednym z czynników modulacyjnych w systemie kontroli motorycznej. Wnioski z naszych badań częściowo zaprzeczają więc hipotezom innych autorów, którzy uważają, że tylko kontrola motoryczna kończyn górnych podlega wpływom centralnego układu nerwowego, a kontrola kończyn dolnych podlega czynnikom określanym jako peryferyczne (np. Kato, Asami, 1998) i że za asymetrię motoryczną kończyn górnych odpowiedzialna jest wyłącznie asymetria budowy i funkcji półkul mózgowych. Skłaniamy się ku hipotezie wspólnego rdzenia systemu motorycznego nazwaną tak przez P. Zehra („the common core hypothesis, 2005”). Hipoteza ta, zgodna zresztą ze wspomnianą wcześniej teorią Bernsteina, mówi o tym, że w organizmie człowieka istnieje jeden, wspólny dla wszystkich poziomów sterowania system kontroli ruchów, gdzie wszystkie jego składowe podlegają oddziaływaniu na siebie. Z naszych badań wnioskujemy, że nie należy rozdzielać sztucznie dominacji kończyn górnych i dolnych, gdyż model lateralizacji w układzie ręka – noga również ma wpływ na procesy sterowania. Wyniki ukazujące wysoki poziom zależności pomiędzy modelem lateralizacji i wynikami testów psychomotorycznych i neurofizjologicznych potwierdza to założenie i uprawnia do odważnego wnioskowania w tym względzie. Wykazany w wynikach niniejszych badań związek szybkości przewodzenia czuciowego w kończynach dolnych i jej asymetrii stronnej z modelem lateralizacji w układzie ręka-noga stanowi ważny przyczynek do potwierdzenia teorii o znaczeniu czuciowych sprzężeń zwrotnych (afferent feedback) w systemie kontroli motorycznej ruchów człowieka. W świetle uzyskanych przez nas wyników wydaje się zasadnym twierdzenie, że wpływ dominacji jednej z parzystych kończyn na mechanizm kontroli ruchów jest związany z większymi wpływami wyższych ośrodków mózgowych (sterowanie centralne) na przebieg i efekt końcowy aktu ruchowego w kończynie dominującej. Wiąże się to prawdopodobnie z hamowaniem aktywności peryferycznych struktur w hierarchicznym systemie sterowania i regulacji ruchami, a czynnikiem mającym wpływ na ten proces jest dominacja jednej z kończyn w aktach ruchowych (zarówno ilość jak i jakość wykonywanych czynności ruchowych daną kończyną). Przesłanką upoważniającą do takiego wniosku są wyniki badania odruchu Hofmanna – reakcji odruchowej opartej na monosynaptycznym odruchu rdzeniowym. Jednoznaczne wyniki redukcji amplitudy odruchu H w kończynie dominującej, wyraźnie zaznaczone w przypadku osób o silnej lateralizacji jednorodnej mogą być efektem hamowania presynaptycznego spowodowanego wpływem aktywności ośrodków ruchowych w korze mózgowej. Różnice stronne w szybkości przewodzenia czuciowego pomiędzy poszczególnymi modelami lateralizacji mogą świadczyć o znaczeniu czuciowej informacji zwrotnej z kończyn dominujących i nie dominujących w procesie kontroli motorycznej. Pośrednim dowodem na potwierdzenie tej hipotezy są wyniki uzyskane przez nas w analizie porównawczej parametrów EMG i odruchu H w różnych grupach wiekowych. Biorąc pod uwagę, że wraz z wiekiem badanych wzrastał stopień współzależności wyników aktywności EMG i odruchu Hoffmanna (odpowiedź H), można wysnuć wstępny wniosek o zwiększaniu się wraz z wiekiem wpływów sterowania centralnego na przebieg reakcji ruchowej wraz z

wiekem, co związane jest zarówno z procesem rozwoju funkcji CUN u dzieci jak i procesami adaptacji i stymulacji w poszczególnych okresach życia

Uzyskane wyniki pośrednio potwierdzają, że kontrola motoryczna reakcji odruchowych znajduje się pod stałą kontrolą wyższych ośrodków mózgowych, a wpływy te są uzależnione od różnych czynników modulacyjnych. Biorąc pod uwagę, że w naszych badaniach wraz z wiekiem stopień asymetrii ruchów się zwiększa na korzyść kończyny dominującej, istnieje możliwość, że lateralizacja kończyn jest jednym z ważnych czynników modulacyjnych w systemie kontroli motorycznej, działając poprzez system informacji aferentnych przekazywanych do wyższych ośrodków sterowania w czasie aktywności poprzez drogi nerwowe wstępujące. Wydaje się, że duże znaczenie ma w tym względzie ilość i jakość doświadczeń ruchowych zdobywanych w ciągu całego życia. Każde doświadczenie ruchowe wpływa w takim przypadku na usprawnienie i rozwój aferencji z efektorów nie tylko do rdzenia kręgowego, ale do wyższych ośrodków sterowania (mózdżek, kora mózgowa), co w następstwie powoduje zmiany zarówno strukturalne jak i funkcjonalne przede wszystkim kory mózgowej powodując zwiększenie roli lateralizacji funkcjonalnej w torowaniu wpływów centralnych w aktywności kończyną dominującą. Dokładne przybliżenie szczegółowych mechanizmów kontrolnych w tym zakresie i weryfikacja empiryczna tak postawionej teorii wymaga jednak dalszych, interdyscyplinarnych badań, z wykorzystaniem nowoczesnych technik obrazowania aktywności mózgu *in vivo*. W tych badaniach problem był jedynie zasygnalizowany; dał jednak zachęcające do dalszych poszukiwań badawczych rezultaty.

## **WNIOSKI APLIKACYJNE**

### **1. Przydatność testów psychomotorycznych do oceny lateralizacji kończyn**

Analiza wyników testów psychomotorycznych pozwoliła na wyodrębnienie tych zadań testowych, które w badaniach ukierunkowanych na lateralizację funkcjonalną kończyn mogą być przydatne do jednoznacznego określania dominacji w obrębie kończyn. W przypadku dominacji funkcjonalnej kończyn górnych przydatnymi testami w tym zakresie są niektóre podtesty baterii MLS testu WST, oraz test decyzji DG (blok parametryczny S4), które wykonywane unilateralnie pozwalają określić dokładnie, która ręka jest wiodącą. Są to następujące podtesty WST:

1. MLS-Wystukiwanie (większa liczba uderzeń oznacza rękę dominującą)
2. MLS -Celowanie liczba błędów (mniej błędów oznacza rękę dominującą)
3. MLS -Celowanie: czas testu (krótszy czas oznacza rękę dominującą)
4. DG – parametr czas reakcji (krótszy czas reakcji oznacza rękę nie dominującą) (tabela nr 47)

Dotychczas ocena dominacji funkcjonalnej w obrębie kończyn górnych opierana jest przez większość badaczy na ankiecie wywiadu bądź samoocenie badanych. Stosowane są co prawda również testy motoryczne, ale ocena wyniku testu jest zwykle ocena wzrokowa i subiektywną. W projekcie udało się wykazać diagnostyczną przydatność testów psychomotorycznych WST, których wyniki są konkretnymi wartościami liczbowymi a proces pomiarowy jest w pełni zobiektywizowany (ustalone i niezmiennie procedury) i

skomputeryzowany, co eliminuje czynnik uznaniowości oceny wyniku testu. Wykazano też, że mocą tych testów może być oceniana dominacja kończyn zarówno u osób prawo jak i leworęcznych nawet o bardzo słabej lateralizacji, gdyż aparatura pomiarowa i sposób testowania badanego pozwala na uchwycenie nawet niewielkich asymetrii stronnych w wykonaniu zadania ręką dominującą i nie dominującą. Zastosowanie tych testów pozwala zatem uniknąć sytuacji klasyfikowania badanego do grupy ambidekstrów, czyli osób o lateralizacji nieustalonej, co niejednokrotnie ma miejsce w przypadku stosowania wyłącznie samooceny badanych lub ankiet wywiadu pośredniego.

## **2. Zastosowanie współczynnika asymetrii jako miary zróżnicowania stronnego**

Standardowe analizy wariancji w wielu przypadkach nie pozwoliły na wykazanie ani interakcji ani zależności pomiędzy parametrami mierzonymi i lateralizacją. Zastosowanie współczynnika asymetrii dla poszczególnych parametrów zarówno wyników testów psychomotorycznych jak i elektrofizjologicznych pozwoliło na dokładne określenie zależności lateralizacji i testów behawioralnych, poprzez odniesienie nieparametrycznej analizy wariancji do wartości osobniczych. Współczynnik asymetrii był obliczany dla każdego z badanych w taki sposób, że średnia wartość każdego parametru charakteryzująca daną grupę uwzględniała zmienność osobniczą każdego z badanych parametrów, pozwalając na dokładniejsze niż w standardowych procedurach określenie ram asymetrii. Wszyscy badani byli osobami zdrowymi, przyjęto więc założenie, że każdy stopień asymetrii prezentowany przez badanych mieści się w granicach normy. Zastosowanie współczynnika asymetrii było bardzo pomocne w dokładnym określeniu nawet niewielkich różnic stronnych, które jednak w przypadku badań osób zdrowych mają znaczenie dla oceny asymetrii motorycznej jako zjawiska fizjologicznego.

Dotychczas nie została stworzona klasyfikacja stopni asymetrii w ramach normy, co bardzo utrudnia wnioskowanie w przypadku zarówno psychomotorycznych jak i neurofizjologicznych badań lateralizacji funkcjonalnej. Istnieją jedynie bardzo lapidarne określenia granic normy asymetrii, najczęściej stanowiące jedną wartość graniczną np. 2m/s w przypadku szybkości przewodnictwa czy 5% w zakresie amplitudy EMG. W przypadku testów psychomotorycznych zakresy asymetrii nie były do tej pory ujmowane w jakiegokolwiek ramy klasyfikacyjne. Na bazie otrzymanych wyników podjęto próbę klasyfikacji wewnętrznej asymetrii ustalając jej poziomy w granicach normy. Proponowana klasyfikacja obejmuje III poziomy asymetrii. W większości analizowanych parametrów rozkład asymetrii przyjmował układ zbliżony do krzywej Gaussa, gdzie asymetria na poziomie I obejmowała ponad 68% przypadków.

| <b>wartość bezwzględna współczynnika asymetrii</b> | <b>poziom asymetrii</b> |
|--|-------------------------|
| <b>0,00 -0,05</b>                                  | <b>I</b>                |
| <b>0,06 -0,15</b>                                  | <b>II</b>               |
| <b>&gt;0,16</b>                                    | <b>III</b>              |

**PUBLIKACJE BĘDĄCE EFEKTEM PROJEKTU**



1. **D.Olex-Zarychta.** Koordynacja ruchowa i jej podłoże neurofizjologiczne w aspekcie lateralizacji kończyn człowieka. Akademia wychowania fizycznego im. J. Kukuczki w Katowicach, 2010 284 str. ISBN: 978-83-60841-56-3
2. **D. Olex-Zarychta.** Neural control of H-reflex correlates to the laterality pattern in limbs. Neural Regeneration Research 2010, 5: 55-63 IF 0.180
3. **D. Olex-Zarychta,** R. Koprowski, G. Sobota, Z. Wróbel. Asymmetry of magnetic motor evoked potentials recorded in calf muscles of dominant and non dominant lower extremity. Neuroscience Letters 2009, 435:74-78 IF 2.200
4. **D. Olex-Zarychta,** G. Sobota, J. Kułdosz, J. Błaszczuk. Parameters of soleus H – reflex and functional laterality of lower extremities in healthy adults. W: G. Juras. K. Słomka (red.): Current research in motor control- from theories to clinical applications, AWF Katowice, Poland 2008: 137-146 ISBN: 978-83-60841-24-2
5. **D. Olex-Zarychta.** Paresthesias as reflection of the lateral asymmetry of neural function. W: *A.Lazanica (red.):Paresthesia.In Tech, Rijeka, Chorwacja, 2012, 20 str. ISBN: 979-953-307-150-2*

## INNE EFEKTY PROJEKTU

1. **Udział w konkursie :POMYSŁY Europejskiej Rady Nauki (ERC)**  
 Udział w III konkursie projektów badawczych “Pomysły” IDEAS – Starting Grants, w ramach 7 Programu Ramowego UE; Inicjatywa Europejskiej Rady Nauki (ERC), niefinansowany  
Tytuł projektu: „Social behaviors as predictors of neural and motor lateralization in human”  
Rodzaj projektu: Starting grants ERC- 2010-StG nr projektu FP7-260191  
Charakter udziału: **kierownik projektu: (principal investigator)**
2. **Kształcenie kadr**  
 Realizacja pracy magisterskiej studentki wydziału fizjoterapii AWF Katowice Jolanty Kułdosz, z wykorzystaniem częściowych wyników uzyskanych w badaniach w ramach projektu. Tytuł pracy mgr: „Odruch Hoffmanna w ocenie szybkości przewodzenia we włóknach nerwu piszczelowego”. Rok obrony: 2008, promotor: prof. dr hab. Janusz Błaszczuk, konsultant projektu
3. **Prezentacje na konferencjach naukowych o zasięgu międzynarodowym**  
 International Scientific Conference Motor Control III - Zakopane, 19-21.09.2008  
Organizator: Akademia Wychowania Fizycznego im.J.Kukuczki w Katowicach  
Poster: **D. Olex-Zarychta,** G. Sobota, J. Kułdosz, J. Błaszczuk “*Parameters of soleus H- reflex and functional laterality of lower extremities in healthy adults*”
4. **Imienne zaproszenie kierownika projektu** Doroty Olex-Zarychta jako invited speaker i prowadzącego sesję na I Światowym Kongresie Neuro-Talk 2010 w Singapore Expo 20-24 10.2010
5. **Imienne zaproszenie kierownika projektu Doroty Olex-Zarychta** jako invited speaker i członek komitetu naukowego na III Światowym Kongresie Neuro- Talk 2012 w Beijing 11-14. 05.2012

6. **Nominacja Doroty Olex-Zarychta** na recenzenta i członka międzynarodowego komitetu wydawniczego czasopisma indeksowanego w JCR – Neural Regeneration Research na lata 2008-2012
7. **Dyplom gratulacyjny** i umieszczenie noty biograficznej w 27 edycji Marquis' Who's Who In the World 2010
8. **Imienne zaproszenie do udziału w międzynarodowym projekcie „Paresthesia”** finansowanego przez wydawnictwo In Tech (Chorwacja). Na zaproszenie redaktów dr L.E. Imbelloni oraz dr M. Gouveia (Instytute of Regional Anesthesia, Brazylia) i A. Lazanica (Chorwacja). Byłam jednym z 5 zaproszonych imiennie naukowców do zaprezentowania na forum międzynarodowym swoich badań dotyczących reakcji neurofizjologicznych i poglądów na zagadnienie parestezji. W publikacji będącej efektem projektu napisano wprost, że zaproszeni autorzy należą do uznanych naukowców otoczonych szacunkiem naukowym. Zaproszenie było dla mnie wielkim zaszczytem i dowodem na uznanie moich badań neurofizjologicznych za znaczące w aspekcie międzynarodowym. W 2015 otrzymałam list gratulacyjny od wydawców dotyczący wyjątkowo znaczącego wpływu mojego wkładu i wyróżniające się zainteresowanie rezultatami moich badań w międzynarodowym środowisku medycznym, szczególnie w Stanach Zjednoczonych.

Wykaz najważniejszej literatury dotyczącej problematyki projektu, będącej bazą naukową do przygotowania projektu:

- Agnew J., Zeffiri T., Eden G. (2004). Left hemisphere specialization for the control of voluntary movement rate. *Neuroimage* vol 22 (1): 289 -304
- Anett M (1970). A classification of hand preference by association analysis. *Br – J – Psychol*, 61: 303 – 321
- Anett M. (1992). Five tests of hand skill. *Cortex*, 28: 583-600
- Elliot D., Heath M. (1999). Goal directed aiming: correcting a force – specification error with the right and left hand. *J – Mot – Behaviour*, vol 31: 4
- Foundas A., Hong K., Leonard C., Heilman K. (1998). Hand preference and magnetic resonance imaging asymmetries of the central sulcus. *Neuropsychiatry – neuropsychol – Behav – Neurol*, 11:65 -71
- Francis K., Spiriduso W (2000). Age differences in the expression of manual asymmetry. *Exp – Aging – Res*, 26: 169 – 181
- Górska T., Majczyński M. (2000). Mechanizmy sterowania ruchami dowolnymi. W: Górska et. al. (red): *Mózg a zachowanie*. PWN, Warszawa
- Grabowska A. (2000). Asymetria półkul mózgowych. W: Górska et. al. (red): *Mózg a zachowanie*. PWN, Warszawa
- Hore J., Watts S., Tweed D., Miller B. (1998). Overarm throws with the non – dominant arm: kinematics and accuracy. *J – Neurophysiol* 76: 3693 – 3704
- Jancke L., Peters M, Himmelbach M., Nosselt T., Shah J., Steinmetz H. (2000) fMRI study of bimanual coordination. *Neuropsychologia*, 38: 4 – 174
- Jaric S. (2000). Is movement symmetry predominantly affected by neural or biomechanical factors? *Current research in motor control*. Katowice
- Jantzen K., Steinberg F., Kelso S. (2004). Brain networks underlying human timing behavior are influenced by prior context. *PNAS* vol 101 nr 17 : 6815- 6820

- Jordy C.F. (1995). Surface electromyography in the diagnosis of lateral dominance in children – psychomotor features. *Arq – Neuropsychiatr.* 53:432 -436
- Kelso S. (2004). Context, continuation and the Brain. Motor control trends and perspectives. Arizona state USA
- Koszczyk T. (1991). Asymetria morfologiczna i dynamiczna oraz możliwości jej kształtowania u dzieci w młodszym wieku szkolnym. AWF, Wrocław
- Ljach V. Et. al. (2003). Co – ordination motor abilities of soccer players in the aspect of lateralisation of movements. *New ideas in sport sciences: current issues and perspectives.* Warsaw – Poznan –Leszno
- Mekota K. (1984). Synteticka studie o pohybove lateralite. *Acta Universitatis Palackinae Olomucensis Faculta Pedagogica gymnica XIV.* Olomouc, 93 – 123
- Mleczo E., Szopa J. (1988). Genetyczne i środowiskowe uwarunkowania zjawiska lateralizacji kończyn górnych. *Wychowanie fiz i sport.* 4 ; 29-45
- Oldfield R. (1971). The assesment and analysis of handedness: The edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, 9: 97 – 113
- Olex D. (2001). Koordynacja motoryczna osób o różnych typach lateralizacji funkcjonalnej kończyn. Praca doktorska, AWF Katowice
- Olex D, Raczek J. (2001). The human laterality phenomene : is the functional dominance on an equality with the strenght dominance in upper limbs? *Biology of Sport* 18: 237 – 244
- Olex D. (2003). Laterality and motor co – ordination: is the frequency of hand movement influenced by central or peripheral motor control?. *New ideas in sport sciences: current issues and perspectives.* Warsaw – Poznan –Leszno
- Olex D. (2004). The H – reflex as an useful tool in laterality evaluation – a preliminary case study. In: Z. Waśkiewicz, G. Juras, J. Raczek (red). *Current research in motor control II.* University School of Physical Education, : 159 -162
- Osiński W. (2003). *Antropomotoryka* AWF Poznań
- Peters M. (1991). Laterality and motor control. *Ciba – Found – Symp*, 162: 300 -311
- Plamondon R., Alimi A.( 1999). Speed/accuracy trade – offs in target – directed movements. *Beh – Brain – Sci.*, 20 : 279-349
- Provins K. (1997). The specifity of motor skill and manual asymmetry: a review of the evidence and its implications.*J – Mot – Beh*, 29: 183 – 192
- Raczek J. (1991) koordynacyjne zdolności motoryczne – podstawy teoretyczno – empiryczne I znaczenie w sporcie. *Sport wyczynowy.* 5-6 : 8-19
- Raczek J. (1993). Koncepcja strukturalizacji i klasyfikacji motoryczności człowieka. W. Osiński (red): *Motoryczność człowieka - jej struktura, zmienność i uwarunkowania.* AWF Poznań
- Raczek J. Et. al. (1998).Teoretyczno – empiryczne podstawy kształtowania i diagnozowania zdolności motorycznych. AWF, Katowice
- Raczek J. (1989). Problem okresów sensorywnych i krytycznych w rozwoju ontogenetycznym. *Antropomotoryka*, 2 : 89 – 101
- Słomka K., Juras G., Błaszczuk J. W. (2004). Lateralization and rapid aimed movements in visually constrained conditions. In: Z. Waśkiewicz, G. Juras, J. Raczek (red). *Current research in motor control II.* University School of Physical Education, : 207 – 212
- Springer S.P., Deutsch G. (2004). Lewy mózg, prawy mózg z perspektywy neurobiologii poznawczej. Prószyński i s-ka, Warszawa
- Starosta W.(2000). Movements symmetrization – a new concept of motor learning in sport. In: Waśkiewicz et. Al (red): *Current research in motor control.* University School of Physical Education, Katowice
- Starosta W. (1990) Symetria i asymetria ruchów w sporcie. Instytut Sportu, Warszawa

- Stokłosa H. (1998). Kształtowanie się asymetrii funkcjonalnej i morfologicznej 7 –15 letnich dziewcząt i chłopców. AWF Katowice
- Tan U. (1993) speed and accuracy of aimed hand movements in left handed human subjects: sex – related differences in motor control. *Int – J – Neurosci.*, 27:235 - 243
- Wolański N.(1957). Asymetria ciała człowieka I jej zmienność w świetle funkcji kończyn. *Przegląd Antrop.*
- Zijdewind C., Bosch W., Goessens L., Kandou T.W., Kernell D. (1990). Electromyogram and force during stimulated fatigue tests of muscles in dominant and non dominant hands. *Eur – J – Appl – Physiol*, 60: 127-132

## **OSIĄGNIĘCIE NR 2**

cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 Przesłanka 2 13 ust. 2 pkt 2 lit. b

**cykl prac pod zbiorczym tytułem: „Hiperbaryczna oksigenacja i jej wpływ na funkcjonowanie organizmu człowieka”**

W skład cyklu wchodzi następujące prace:

1. **Dorota Olex-Zarychta.** Hyperbaric oxygenation as adjunctive therapy in the treatment of sudden sensorineural hearing loss. *International Journal of Molecular Sciences* vol 21,22 (2020) s. 1-14
2. **Dorota Olex-Zarychta.** Improvement of human reaction time with hyperbaric oxygen therapy: case report. *Journal of Case Reports In Medical Science* vol 3,2 (2017),26-28
3. **Dorota Olex-Zarychta .**Successful treatment of sudden sensorineural hearing loss by means of pharmacotherapy combined with early hyperbaric oxygen therapy *Medicine* vol 96,51 (2017), 1-3. Biometryczne podsumowanie jednotematycznego cyklu artykułów naukowych: **IF= 7,951 pkt MNSiW: 185**

Omówienie osiągnięcia

Tlenowa terapia hiperbaryczna („Hyperbaric Oxygen Therapy, HBO), zwana też hiperbarią tlenową jest definiowana jako umieszczenie całego ciała pacjenta w środowisku o podwyższonym ciśnieniu otoczenia, w którym pacjent ten oddycha 100- procentowym tlenem [1]. Obecny zasób wiedzy wskazuje, że ciśnienie powinno wynosić co najmniej 1,4 ATA. Leczenie może być prowadzone w komorze jednomiejscowej (mono-place) lub wielomiejscowej (multiplace) dla 2 lub więcej osób. HBOT może być stosowany jako terapia wiodąca lub uzupełniająca w celu leczenia w przypadku określonej liczby schorzeń. HBOT jest podejmowane w Europie na podstawie wskazań Europejskiego Komitetu Medycyny Hiperbarycznej (ECHM). Aktualne wskazania do medycznego zastosowania HBO w Europie zostały ustalone na ECHM Consensus Conference w 2016 roku, biorąc pod uwagę trzy różne

typy rekomendacji stosowania HBOT jako procedury medycznej: Typ 1, gdzie HBOT jest silnie wskazane jako skuteczna metoda leczenia, ponieważ jest poparta wystarczająco mocnymi dowodami naukowymi; Typ 2, gdzie sugerowane jest HBOT, ponieważ jest poparte akceptowalnymi poziomami dowodów naukowych ; Typ 3, gdzie HBOT można uznać za możliwą procedurę, ale nie jest jeszcze poparta wystarczająco mocnymi dowodami [2]. W przypadku natleniania w warunkach hiperbarycznych ciśnienie jest wyrażane jako wielokrotność ciśnienia atmosferycznego mierzonego na poziomie morza, które wynosi 1 atmosfera i 1033 ATA. W warunkach normobarycznych (na poziomie morza) stężenie tlenu w osoczu krwi wynosi 0,3 ml na decylitr. Zakładając prawidłową perfuzję, tkanki w spoczynku ekstrahują około 6 ml tlenu na decylitr krwi. Oddychanie czystym tlenem w warunkach hiperbarycznych prowadzi do wzrostu ciśnienia parcjalnego tlenu w płucach, znacznego wzrostu jego stężenia w osoczu, na podstawie fizycznego rozpuszczania w ilościach do 20 razy wyższych niż przy ciśnieniu otoczenia. Hiperbaryczna oksygenacja zwiększa zdolność oksydacyjną surowicy krwi. Oddychanie 100% tlenem w warunkach hiperbarycznych (np. 2,5 ATA) prowadzi do zwiększenia ilości tlenu w surowicy krwi do około 50 ml/l. W normalnych warunkach tlen transportowany jest we krwi tylko z hemoglobina w krwinkach czerwonych, co stanowi 98% krwi nasyconej tlenem. W warunkach normalnego ciśnienia atmosferycznego (1 ATA) krwinki czerwone stanowią tylko 45% krwi, podczas gdy osocze transportuje bardzo małe ilości tlenu. W podwyższonym ciśnieniu podczas HBOT ilość tlenu dostarczanego z krwią wzrasta od 10 do 15 razy powyżej normy przy ciśnieniu 3 ATA, co daje ilość wystarczającą do podtrzymywania życia nawet przy braku hemoglobiny [4]. W warunkach hiperbarycznych ilość tlenu rozpuszczonego w osoczu krwi jest wystarczająca do spełnienia wymagań spoczynkowych. Podając 100% tlenu przy 3 ATA zawartość rozpuszczonego tlenu wynosi około 6 ml na decylitr, natomiast w warunkach normobarycznych oddychanie czystym tlenem zwiększa ilość tlenu rozpuszczonego we krwi tylko z 0,3 do 1,5 ml na decylitr. Oddychanie 100% tlenem w warunkach hiperbarycznych powyżej 1,4 ATA przyczynia się do znacznego zwiększenia promienia dyfuzji tlenu z naczyń włosowatych do otaczających tkanek. Przy 3 ATA ciśnienie w osoczu może sięgać nawet 2000 mmHg, co czterokrotnie zwiększa dyfuzję tlenu do tkanek po stronie tętniczej i dwukrotnie po stronie żyłnej krążenia włosniczkowego [5]. Oddychanie 100% tlenem w warunkach normobarycznych (1 ATA) nie jest kwalifikowane jako HBOT, ponieważ oddychanie czystym tlenem w warunkach normobarycznych zwiększa ilość tlenu rozpuszczonego w surowicy tylko o około 20 ml/l [6]. HBOT powoduje również wzrost elastyczności erytrocytów oraz zmniejsza lepkość krwi, poprawiając tym samym mikrokrażenie [6,7]. Wdychanie tlenu o stężeniu 3 ATA powoduje wzrost ciśnienia parcjalnego tlenu we krwi do 200 kPa i więcej, co prowadzi do wzrostu stężenia tlenu we krwi tętniczej z 6,6 do 6,8 ml tlenu/100 ml [4]. Wpływ HBOT na narządy i tkanki jest zróżnicowany. W warunkach wysokiego ciśnienia i wysokich stężeń cząstkowych tlen staje się lekiem wywołującym w organizmie pacjenta wiele ważnych zjawisk, z których najważniejszym jest jego metabolizm [5]. Tlen hiperbaryczny wykazał korzystny wpływ na miejscowe niedotlenienie tkanek. Właściwa prężność tlenu jest niezbędna do angiogenezy, ponieważ warunkuje tworzenie macierzy kolagenowej [8]. Zastosowanie HBOT zmniejsza zdolność neutrofilów do przylegania do ścian naczyń, a tym samym zmniejsza uszkodzenia śródbłonna, zwężenie naczyń w obszarach o prawidłowym stężeniu tlenu bez zmian w

krążeniu w obszarach o zaburzonym przepływie, przywrócenie produkcji kolagenu i wzrostu fibroblastów, stymulacja produkcji dysmutazy nadtlenkowej, magazynowanie adenozynotrójfosforanu (ATP) w błonach komórkowych. Wpływa to na zmniejszenie obrzęków w tkankach, ograniczenie niektórych form odpowiedzi immunologicznej, pobudzenie aktywności osteoklastów, proliferację naczyń włosowatych, zahamowanie produkcji surfaktantu w płucach, zablokowanie peroksydacji lipidów w zatruciu tlenkiem węgla (CO) i jego przyspieszone usuwanie z hemoglobiny [7]. W stanach spowodowanych tworzeniem się gazu (np. w przypadku choroby dekompresyjnej) HBOT powoduje wraz ze wzrostem ciśnienia zmniejszenie objętości pęcherzyków gazu obojętnego w naczyniach krwionośnych i tkankach. Przy 2,8 ATA objętość bąbelków jest zmniejszona o prawie dwie trzecie. Leczenie za pomocą HBOT służy zmniejszeniu wielkości pęcherzyków, zmniejszając w ten sposób ból i przywracając przepływ krwi, a także korygując niedotlenienie tkanek i indukując duży gradient gazu obojętnego w celu przyspieszenia wypłukiwania. Natlenianie hiperbaryczne dodatkowo przyspiesza rozpuszczanie pęcherzyka gazu obojętnego poprzez zastąpienie gazu obojętnego w pęcherzyku tlenem (szybko metabolizowanym przez tkanki) i zapobiega tworzeniu się nowych pęcherzyków [9]. Podawanie czystego tlenu hiperbarycznego wydłuża działanie przeciwbakteryjne leukocytów. Zwiększa szybkość zabijania niektórych pospolitych bakterii i fagocytów. HBOT działa bakterioobójczo na niektóre gatunki beztlenowców, w tym *Clostridium perfringens*, a badania wykazały, że działa bakteriostatycznie na niektóre gatunki *Escherichia* i *Pseudomonas* [10]. Działanie HBOT na beztlenowce opiera się na produkcji wolnych rodników, takich jak ponadtlenek, dysmutaza, katalaza i peroksydaza. Do tej pory zidentyfikowano wiele różnych egzotoksyn *Clostridium*, z których dominującą jest alfatoksyna (fosfolipaza C), która działa emolitycznie i martwiczo w tkankach, a także tetatoksyna odpowiedzialna za uszkodzenie naczyń, a w konsekwencji przyspieszenie martwicy tkanek. HBOT blokuje produkcję alfatoksyny i tetatoksyny oraz działa jako inhibitor wzrostu bakterii [11]. W wielu różnych modelach eksperymentalnych udokumentowano, że tlen hiperbaryczny zmniejsza uraz niedokrwiennie-reperfuzyjny. Mechanizmy odpowiedzialne za korzystny wpływ HBOT w leczeniu urazów niedokrwiennie-reperfuzyjnych obejmują tłumienie adhezji neutrofilii do śródbłonka [12]. Efekt hamowania adhezji leukocytów do śródbłonka występuje po HBOT, zmniejszając uszkodzenia tkanek, co wzmacnia ruchliwość leukocytów i prowadzi do poprawy mikrokrążenia [13]. Dzieje się tak, gdy obecność pęcherzyków gazowych w naczyniach żylnych blokuje przepływ i wywołuje niedotlenienie, które powoduje stres śródbłonka, a następnie uwalnianie tlenu azotu (NO), który reaguje z anionami ponadtlenkowymi. Reakcja ta wywołuje okołonaczyniowy stres oksydacyjny i prowadzi do aktywacji leukocytów oraz ich adhezji do śródbłonka [11]. Huang i Obenaus [14] opisali neuroprotekcję indukowaną przez HBOT w modelu zwierzęcym ze względu na zaobserwowaną poprawę utleniania tkanek, poprawę mitochondrialnego redoks, zachowanie integralności mitochondriów, hamowanie związanych z mitochondriami szlaków apoptotycznych, a także działanie przeciwzapalne. Niewiele jest dostępnych danych na temat wpływu HBOT na kontrolę motoryczną i funkcjonowanie neuropoznawcze człowieka, jednak w niektórych wcześniejszych badaniach sugerowano pozytywny wpływ HBOT na funkcje sensomotoryczne ssaków. Pozytywny wpływ HBOT na czas reakcji prostej wykazały badania Olex-Zarychta [15], gdzie po 15 sesjach przy 2,5 ATA czas reakcji pacjenta wyraźnie się

poprawił, a 3 tygodnie po ostatniej sesji nieznacznie się obniżył, ale nadal przekraczał poziom wyjściowy. Wcześniejsze badania Kennetha i Stollera [16] przedstawiały korzystny wpływ HBOT na funkcje psychomotoryczne człowieka, ale efekty terapii były przemijające; utrzymanie pozytywnego efektu HBOT wymagało wielokrotnego podawania. Potencjalny mechanizm, który może leżeć u podstaw skuteczności hiperbarii tlenowej na funkcje neuropoznawcze człowieka, wciąż nie jest jasny. Przypuszcza się, że HBOT prowadzi do większej ilości dostępnego tlenu w mózgu, a tym samym skutkuje zwiększeniem przetwarzania poznawczego człowieka. Odpowiednia ekspozycja na HBOT powoduje wzrost zawartości tlenu we krwi tętniczej. Ten wzrost tlenu, a następnie wzrost gradientu dyfuzji tlenu między krwią a tkankami został nazwany głównym efektem terapii HBOT. Wtórny efekt terapii HBOT jest zmniejszenie odpowiedzi zapalnej w wyniku skurczu naczyń za pośrednictwem tlenu [17]. Taka terapia może pośrednio zainicjować naprawę naczyń krwionośnych, poprawić krążenie mózgowe i zdolność śródbłonna naczyniowego do syntezy azotu czy regeneracji aksonów. Może stymulować ich wzrost, wzmacniać integralność bariery krew-mózg oraz redukować stany zapalne i obrzęki mózgu. Wpływ HBOT na neurony może również występować pośrednio poprzez komórki neurogleju i astrocyty [18]. Natlenianie hiperbaryczne jako zabieg medyczny polega na inhalacji pacjenta czystym tlenem pod ciśnieniem od 2 do 3 ATA, które zapewniają odpowiednio skonstruowane komory ciśnieniowe. Oddychanie 100% tlenem przy ciśnieniu otoczenia 1 ATA lub ekspozycja tylko części ciała ze 100% tlenem nie powinno być kwalifikowane jako leczenie HBO [7]. Aktualna wiedza wskazuje, że ciśnienie w komorze hiperbarycznej podczas terapii HBO powinno wynosić co najmniej 1,4 ATA [4]. Jedna typowa sesja terapii HBO w komorze wielomiejscowej trwa około 1,5 godziny i składa się z kilku faz. Pierwsza faza trwa 10 minut i obejmuje sprężanie powietrza do ciśnienia 2,0-2,5 ATA (ciśnienie odpowiadające głębokości 10-15 m pod wodą). Ta wartość ciśnienia utrzymuje się przez 70 minut. W drugiej fazie pacjent oddycha tlenem przez maskę, robiąc 5-minutowe przerwy powietrzne bez maski. Ostatnia faza sesji to dekompresja [6]. Procedura podawania czystego tlenu w sposób przerywany ma na celu uniknięcie objawów toksyczności tlenu. W prawie wszystkich ośrodkach medycyny hiperbarycznej na świecie 100% tlen podawany jest w warunkach hiperbarycznych 2-3 ATA w sposób przerywany, w czasie nieprzekraczającym 1 godziny. Klinicznie HBOT jest wysoce skuteczny w leczeniu kilku stanów o innym zakresie patologicznym [19]. Aktualne europejskie wskazania do medycznego zastosowania HBOT zostały ustalone na ECHM Consensus Conference w 2016 roku, biorąc pod uwagę 3 typy rekomendacji stosowania HBO jako procedury medycznej. Rekomendacja typu I, gdzie HBOT jest zdecydowanie zalecane, ponieważ takie podejście gwarantuje pozytywny efekt leczenia. Zalecenia obejmują: zatrucie CO, otwarte złamania z urazami zmiażdżeniowymi, profilaktykę osteoradionekrozy po ekstrakcji zębów, osteoradionekrozy (żuchwy), radionekrozy tkanek miękkich (zapalenie pęcherza moczowego, odbytnicy), choroby dekompresyjne, zator gazowy, infekcje bakteryjne beztlenu lub mieszane oraz nagły niedosłuch czuciowo-nerwowy. Zalecenia i standardy są poparte mocnymi dowodami korzystnego działania, opartymi na co najmniej dwóch zgodnych, dużych, podwójnie zaślepionych, randomizowanych badaniach kontrolowanych bez lub z niewielkimi uprzedzeniami metodologicznymi. Zalecenie typu II, gdy zalecane jest HBOT, ponieważ daje pozytywny efekt terapeutyczny. Zalecenia obejmują zmiany stopy cukrzycowej, martwicę

głowy kości udowej, uszkodzone przeszczepy skóry i płaty skórno-mięśniowe, urazy zmiążdżone bez złamań, osteoradionekrozę (kości inne niż żuchwa), uszkodzenia tkanek miękkich wywołane promieniowaniem (inne niż zapalenie pęcherza moczowego i odbytnicy), owrzodzenia niedokrwienne, oporne przewlekłe zapalenie kości i szpiku oraz oparzenia II stopnia ponad 20% powierzchni ciała. Zalecenia lub wytyczne są poparte dowodami korzystnego działania, opartymi na podwójnie ślepych randomizowanych badaniach kontrolowanych, ale z pewnym błędem metodologicznym, lub dotyczących tylko małych próbek lub tylko jednego badania. Rekomendacja typu III przy podawaniu HBOT może być fakultatywna, obejmując niektóre zmiany popromienne, zespół reperfuzji po zabiegu naczyniowym, replantację kończyn, wybrane niegojące się rany wtórne do procesów ogólnoustrojowych. Zalecenia są poparte słabymi dowodami korzystnego działania, opartymi wyłącznie na badaniach niekontrolowanych – historycznej grupie kontrolnej, badaniu kohortowym itp. [2]. Niektórzy autorzy wskazują na neuroterapeutyczne działanie tlenu hiperbarycznego w urazowych uszkodzeniach mózgu, w świetle ostatnich dowodów na skuteczność HBO w naprawie mózgu [20]. Niektóre obserwacje i eksperymenty wskazywały, że HBOT jest silnym środkiem dostarczania do mózgu wystarczającej ilości tlenu potrzebnego do aktywacji neuroplastyczności i przywrócenia zaburzonych funkcji mózgu [21]. Jednak jak dotąd nie ma mocnych dowodów na skuteczność chorób neurodegeneracyjnych HBO. Brak jednoznacznego i potwierdzonego efektu klinicznego HBO pozwolił na wydanie w 2016 roku zaleceń dotyczących niestosowania HBO w zaburzeniach ze spektrum autyzmu, niewydolności łożyska, stwardnieniu rozsianym, porażeniu mózgowym i ostrej fazie udaru [2]. Absolutnym przeciwwskazaniem HBO są nieleczona odma opłucnowa i chemioterapia. Względny przeciwwskazaniem do HBO są: infekcje górnych dróg oddechowych, rozedma z retencją CO<sub>2</sub>, bezobjawowe torbiele lub pęcherzyki powietrzne w płucach, wysoka temperatura ciała, ciąża, klaustrofobia, niski próg drgawkowy, terapia bleomycyną, przebyta operacja klatki piersiowej lub uszu [2, 7].

Nagły odbiorczy ubytek słuchu (Sudden Sensorineural Hearing Loss, SSNHL) to pogorszenie słuchu większe niż 30 dB, występujące w co najmniej trzech kolejnych częstotliwościach audiometrycznych w okresie do 72 godzin [22]. W przypadku głuchoty idiopatycznej wielkość ubytku słuchu może wahać się od 30 dB przy trzech częstotliwościach, do nawet 120 dB przy większej liczbie częstotliwości [19]. Idiopatyczny SSNHL dotyka od 5 do 20 na 100 000 osób z prawdopodobieństwem wystąpienia wzrastającym wraz z wiekiem i jest uważany za prawdziwy stan zagrożenia otologicznego [23]. W przypadku mniejszych ubytków naturalny przebieg może być korzystny ze względu na zdolność naprawczą ślimaka, ale w głębokich przypadkach szansa na całkowite wyleczenie jest ograniczona [19]. Chociaż większość przypadków SSNHL wydaje się być idiopatyczna, możliwe do zidentyfikowania przyczyny to infekcja, choroba otologiczna, uraz, choroba naczyniowa i choroba nowotworowa, w kolejności malejącej częstości [24]. Należy przeprowadzić szczegółowy wywiad i badanie fizykalne, aby wykluczyć możliwość choroby podstawowej i ukierunkować diagnozę i leczenie. Nagły odbiorczy ubytek słuchu w wieku dorosłym występuje zwykle między 43 a 53 rokiem życia, z równym rozkładem płci. Pacjenci zwykle zgłaszają się z szumami usznymi, zawrotami głowy lub uczuciem pełności w uszach wraz z utratą słuchu. Szumy uszne są najczęstszym objawem wtórnym idiopatycznego SSNHL; ostatnie badania wykazały częstość występowania od 73 do 84% [25] Większość przypadków nagłej głuchoty



ma charakter jednostronny. Objawy obustronne występują w mniej niż 2% wszystkich przypadków [26]. W momencie wystąpienia SSNHL następujące zmienne były skorelowane z gorszym rokowaniem: zawroty głowy, głęboki ubytek słuchu, upośledzenie słuchu w uchu przeciwstronnym oraz opóźnienie rozpoczęcia leczenia. Stwierdzono, że szum w uszach na początku idiopatycznego SSNHL koreluje z lepszym rokowaniem [27]. Samoistne wyleczenie idiopatyczne występuje u 32-65% pacjentów; większość w ciągu pierwszych 2 tygodni od wystąpienia objawów. Całkowite wyleczenie słuchu i pełna remisja szumów usznych były około trzy razy częstsze u pacjentów z lekkim i umiarkowanym ubytkiem słuchu niż w przypadkach ciężkich i głębokich [25]. Patofizjologia SSNHL wydaje się być ściśle związana ze stanem ucha wewnętrznego. W badaniach Gupty i in. [28] Niska masa urodzeniowa niemowląt wiązała się z wyższym ryzykiem utraty słuchu w wieku dorosłym. Autorzy przypuszczali, że u niemowląt nisko urodzonych narażenie na niedożywienie lub stres może niekorzystnie wpływać na rozwój ślimaka i wpływać na funkcjonowanie ucha wewnętrznego w dorosłym życiu. Istnieją dowody sugerujące, że przewlekłe zapalenie może być zaangażowane w rozwój idiopatycznej głuchoty czuciowo-nerwowej jako molekularnej podstawy tej choroby [29,30,31]. Może prowadzić do uszkodzenia naczyń mikrokrążenia i miażdżycy oraz zwiększać ryzyko niedokrwienia [32]. Zapalenie może skutkować dysfunkcją śródbłonna, która może powodować zdarzenie zakrzepowe, które zmienia dopływ krwi do ucha wewnętrznego [29]. Ślimak jest narządem zależnym od odpowiedniego poziomu tlenu we krwi [33]. Jednak ze względu na chronione umiejscowienie ślimaka w kości skroniowej dopływ krwi do tego narządu jest dość ograniczony [34]. Krew dostarczana jest do ślimaka głównie przez pojedynczą tętnicę końcową (labirynt). Komórki ślimakowe wykazują duże zużycie tlenu i słabą tolerancję na niedotlenienie, dlatego ucho wewnętrzne jest podatne na zmiany w krążeniu. Wydaje się, że SSNHL charakteryzuje się niedotlenieniem w perylimfie, a zatem także i narządzie Cortiego. Wydaje się zatem, że inny mechanizm odgrywający możliwą rolę w idiopatycznym SSNHL ma podłoże naczyniowe, związane z brakiem tlenu. Rokowanie w przypadkach izolowanego SSNHL jest na ogół dobre, a poprawa w ciągu kilku dni jest powszechna. Pacjenci, u których nie nastąpiła zmiana w ciągu 2 tygodni, prawdopodobnie nie wykażą znacznego powrotu do zdrowia. Jednak czas między zachorowaniem a leczeniem wydaje się mieć kluczowe znaczenie dla rokowania. Według badań 65% pacjentów z idiopatycznym SSNHL odzyskało słuch niezależnie od rodzaju leczenia, przy czym większość wyzdrowiała w ciągu 14 dni [35]. Różne podejścia terapeutyczne opierają się na rzekomych mechanizmach patofizjologicznych odpowiedzialnych za dysfunkcję ucha wewnętrznego. Leczeniem pierwszego rzutu idiopatycznego SSNHL są doustne i/lub dożylne kortykosteroidy w celu zmniejszenia przypuszczalnej odpowiedzi zapalnej. Steroidy są jedną z najczęściej stosowanych opcji wśród broni terapeutycznej. Steroidy doustne są zwykle proponowane jako leczenie pierwszego rzutu na podstawie oceny stosunku ryzyka do korzyści [39]. Oczekiwane skutki uboczne ostrej terapii doustnymi steroidami są łagodne [38]. Jednak zalecane są również steroidy przebłonowe, ponieważ ten sposób podawania pozwala uniknąć niepożądanych skutków steroidów ogólnoustrojowych. Steroidy przebłonowe w leczeniu SSNHL mogą być stosowane jako terapia podstawowa samodzielnie lub w połączeniu ze steroidami ogólnoustrojowymi, lub w połączeniu ze steroidami ogólnoustrojowymi lub jako terapia ratunkowa po niepowodzeniu steroidów ogólnoustrojowych. [38,39]. Badania wykazały, że

leczenie dołębne nie było gorsze od leczenia doustnymi kortykosteroidami.[38]. Wskaźnik powodzenia początkowej terapii sterydami zależy od wielu czynników, takich jak nasilenie początkowego ubytku słuchu i czas rozpoczęcia terapii, czas rozpoczęcia leczenia. W przypadkach, gdy początkowa terapia idiopatycznego SSNHL nie przynosi rezultatów lub jest niezadowolająca, wdrażane są terapie wspomagające lub ratujące. Inne terapie idiopatycznego SSNHL obejmują leki rozszerzające naczynia krwionośne, antykoagulanty, antyoksydanty, ekspandery osocza i HBOT [36,37,38]. HBOT jest najczęściej stosowana jako terapia ratunkowa po niepowodzeniu początkowej steroidoterapii lub jako terapia wspomagająca idiopatyczne przypadki nagłej głuchoty leczonych kortykosteroidami [2, 22, 37, 39, 40, 41]. HBOT w leczeniu SSNHL służy do odwrócenia niedoboru tlenu w uchu wewnętrznym. Zwiększa ciśnienie parcjalne tlenu w celu poprawy profilu tlenowego krwi i mikrokrążenia. Doniesiono, że w warunkach niskiego poziomu tlenu potencjał ślimakowy zmniejszał się i nie pojawiał się ponownie po przywróceniu dopływu krwi. Stwierdzono, że w stanie niższym natlenieniem potencjał ślimaka jest o 20 mV bardziej ujemny niż w stanie natlenionym [19]. Stwierdzono, że u pacjentów z SSNHL ciśnienie tlenu w układzie limfatycznym zmniejszyło się, natomiast w warunkach hiperbarii ciśnienie tlenu w płynie okołolimfatycznym wzrosło o 450% [37]. HBOT łagodzi również utratę słuchu u pacjentów z SSHL poprzez tłumienie odpowiedzi zapalnej indukowanej przez receptory Toll-podobne (TLR), które są rodziną cząsteczek transdukcji sygnału, które odgrywają kluczową rolę we wrodzonej odporności i odpowiedzi zapalnej [30, 31]. HBOT został po raz pierwszy użyty w ISSNHL pod koniec lat 70. [42] Dziś HBOT jest nadal jedyną znaną metodą zwiększania poziomu tlenu w płynach ucha wewnętrznego. Natlenianie w warunkach hiperbarycznych zyskało popularność jako leczenie SSNHL w połączeniu ze środkami farmakologicznymi. Niedawne dowody sugerują, że HBOT zapewnia znaczącą dodatkową korzyść terapeutyczną, gdy jest stosowana w połączeniu z steroidoterapią w idiopatycznym nagłym ubytku słuchu typu zmysłowo-nerwowego. Wyniki ostatnich badań wykazały, że HBOT w połączeniu z doustnymi lub dołębnymi kortykosteroidami zwiększa wzmocnienie słuchu u pacjentów z SSNHL w porównaniu z leczeniem samymi sterydami. W połączeniu z leczeniem sterydami w dużych dawkach HBOT daje pozytywne wyniki u 59,7%-78,3% pacjentów, z większym stopniem poprawy (definiowanej jako wzmocnienie słuchu o co najmniej 10 dB w stosunku do średniej tonalnej) u pacjentów leczonych tlenem hiperbarycznym . [30, 40, 42, 43,44, 45, 46,47] . Jednak inne rzeczywiste badania nie wykazały różnic między grupami sterydów i sterydów + HBOT pod względem wzmocnienia słuchu [48 ], jednak w tym badaniu leczenie wdrożono do 30 dni od wystąpienia objawów, co mogło mieć wpływ na wyniki terapii. Aktualne badania nie wykazują różnic w działaniu terapeutycznym samych steroidów i samego HBOT [49]. W badaniach Sun i in. (2018) kortykosteroidy wykazały znacznie lepszą poprawę szumów usznych niż HBOT [49]. Pozostaje to zgodne z aktualnym zaleceniem EHMS, aby nie stosować HBOT w leczeniu szumów usznych ze względu na brak jednoznacznego i potwierdzonego efektu klinicznego [2].

Stosowanie HBO jako procedury medycznej wiąże się z możliwością wystąpienia skutków ubocznych i powikłań. Wśród biologicznych powikłań HBO wyróżnia się trzy grupy chorób: •powikłania związane z toksycznością tlenu •powikłania związane z możliwym urazem ciśnieniowym (barotrauma) •powikłania oczne [2,4,6,7]. Działania niepożądane mogą

wystąpić podczas i po ekspozycji na 100% tlenu, a jego toksyczność należy zawsze brać pod uwagę przed zastosowaniem HBO w leczeniu ISSNHL. Toksyczność płucna tlenu jest związana z długotrwałą ekspozycją organizmu na 100% tlenu zarówno w warunkach normalnego, jak i podwyższonego ciśnienia. Wczesne objawy zatrucia tlenem to podrażnienie krtani i tchawicy, ból przyzębia krtani oraz obrzęk błony śluzowej nosa. Takie objawy mogą pojawić się po ok. 1 godz. 6 godzin oddychania ze 100% tlenem przy 2 ATA. W warunkach normobarycznych objawy te pojawiają się po około 24 godzinach oddychania czystym tlenem. Po około 10 godzinach oddychania czystym tlenem nasilają się zaburzenia oddychania, może wystąpić duszność i ciągły kaszel. Pogorszenie stanu klinicznego wiąże się ze zmniejszeniem pojemności życiowej płuc pacjenta. Dostarczanie tlenu metodą przerywaną jest praktycznym sposobem uniknięcia objawów zatrucia płucnego tlenem w warunkach hiperbarycznych. Toksyczny wpływ tlenu na centralny układ nerwowy (OUN) może objawiać się po krótkim czasie oddychania 100% tlenem przy podwyższonym ciśnieniu (co najmniej 2 ATA). Im wyższe ciśnienie kompresji, tym szybciej mogą pojawić się kliniczne objawy toksycznego działania tlenu na OUN. Przy 7 ATA niepożądane reakcje ze strony OUN mogą wystąpić po 5 minutach oddychania czystym tlenem. Najbardziej charakterystycznym objawem są uogólnione drgawki typu grand mal. Napad może być poprzedzony drżeniem mięśni wokół ust, oczu oraz drżeniem rąk [6,7]. Toksyczności mózgowej tlenu można uniknąć poprzez ścisłe przestrzeganie procedur medycznych leczenia HBO, w tym przerywanego i kontrolowanego podawania tlenu w komorach hiperbarycznych. Najczęstszym powikłaniem HBO jest barotrauma. Może dotyczyć ucha środkowego, ale także zatok dodatkowych nosa i płuc. Około. 15-20% pacjentów doświadcza objawów barotraumy w uchu środkowym podczas fazy kompresji zabiegu HBO. Aby zapobiec urazom ciśnieniowym, środki farmakologiczne podaje się doustnie lub donosowo, a także można wykonać paracentezę. W niektórych przypadkach zabieg kompresji musi zostać przerwany, a pacjent musi opuścić komorę hiperbaryczną. Szok ciśnieniowy może wystąpić jednorazowo i często dotyczy tylko jednego ucha. Aby zminimalizować ryzyko urazu, zaleca się, aby fazy kompresji i dekompresji protokołu HBO [6,7]. Powikłania oczne HBO obejmują krótkowzroczność i zaćmę. Krótkowzroczność to stan przejściowy występujący u około 20% pacjentów poddawanych tlenoterapii w komorach hiperbarycznych. Po powtarzającym się HBO mogą wystąpić progresywne zmiany krótkowzroczności w oku. Przyczyna okresowych zaburzeń widzenia związanych z interwencją HBO nie jest jasna. Dokładny mechanizm nie jest w pełni poznany, ale uważa się, że toksyczność tlenu powoduje zmiany w soczewce krystalicznej, twardnienie soczewki i zwiększenie jej mocy refrakcyjnej. Uważa się, że przejściowe zaburzenia widzenia mogą być spowodowane m.in. zmianami krzywizny rogówki wywołanymi zmianami ciśnienia podczas kompresji i/lub dekompresji, zmianami metabolicznymi rogówki lub zmianami w soczewce refrakcyjnej [6]. Badania wykazały również możliwy wzrost ryzyka nieodwracalnych zmian refrakcji, jeśli liczba terapii przekracza 100 [16,50]. Większość zmian krótkowzroczności ustępuje po zaprzestaniu terapii. Wiele badań wskazuje, że efekt ten utrzymuje się od kilku dni do nawet miesięcy. W badaniu Olex-Zarychta odwrócenie krótkowzroczności było szybkie, w ciągu pierwszych dziesięciu dni po ostatniej sesji HBO [41]. Jednak w tym konkretnym przypadku terapia obejmowała tylko 15 ekspozycji na HBO; odwrócenie krótkowzroczności może postępować wolniej w ciągu miesięcy do roku od daty zakończenia HBO. Nadmiar reaktywnych form

tlenu w tkankach ze względu na ich właściwości cytotoksyczne i/lub niedobory Aktywność antyoksydacyjna może przyczynić się do powikłań HBO, takich jak zaćma i inne choroby oczu. Wydaje się, że reaktywne formy tlenu i niedobory aktywności przeciwutleniającej przyczyniają się do procesów patogenetycznych w stożku rogówki. Przypuszcza się, że wpływ ten może nasilić się podczas HBO poprzez ekspozycję na dodatkowe reaktywne formy tlenu [50].

#### Literatura

1. Kirby, J.P., Snyder, J., Schuerer, D.J., Peters, J.S., Bochicchio, G.V. Essentials of Hyperbaric Oxygen Therapy: 2019 Review. *Mo Med.* 2019, 116(3), 176–179.
2. Mathieu D., Marroni A., Kot J. Tenth European Consensus Conference on Hyperbaric Medicine: recommendations for accepted and non-accepted clinical indications and practice of hyperbaric oxygen treatment. *SPUMS J.* 2017, 47(1), 24-32
3. The Global Burden of Disease 2004 Update. World Health Organization. 2008. [http://www.who.int/healthinfo/global\\_burden\\_disease/GBD\\_report\\_2004update\\_full.pdf](http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/GBD_report_2004update_full.pdf) accessed 08.09. 2020
4. Kujawski, S.; Kujawska, A.; Kozakiewicz, M.; Olszanski, R.; Siermontowski, P.; Zalewski, P. The effect of hyperbaric oxygen therapy on the nervous system. Systematic review. *Pol Hyp Res.* 2015, 4, 19-27.
5. Kawecki M; Kniefel, G; Szymańska, B; Nowak, M; Sieroń, A. Present Indications and Capabilities of HBO Applying. *Acta Balneologica* 2006, 4, 202-206.
6. Mathieu, D. *Handbook on hyperbaric medicine.* Springer, Dordecht, Germany, 2006.
7. Jain, K. *Textbook of hyperbaric medicine, 4th revised and expanded edition.* Hogrefe & Huber Publishers, Göttingen, Germany, 2004
8. Marx, RE; Ehler, WJ; Tayapongsak, P; Pierce LW. Relationship of oxygen dose to angiogenesis induction in irradiated tissue. *Am J Surg.* 1990, 160, 519-524.
9. Ciarlone, G.E.; Hinojo, C.M.; Stavitzski, N.M.; Dean, J.B. CNS function and dysfunction during exposure to hyperbaric oxygen in operationa land clinical settings. *Redox Biol.* 2019, 27, 101159
10. Park, MK; Muhvich, KH; Myers, RM; Marzella, L. (1991). Hyperoxia prolongs the aminoglycoside-induced postantibiotic effect in *Pseudomonas aeruginosa*. *Antimicrob Agents Chemother.* 1991, 35, 691-695.
11. Barata, P; Cervaens, M; Resende, R; Camacho, Ó; Marques, F. (2011). Hyperbaric oxygen effects on sport injuries. *Ther Adv Musculoskelet Dis.* 2011, 3, 111-121.
12. Buras, JF; Reenstra, WR. Endothelial–neutrophil interactions during ischemia and reperfusion injury: basic mechanisms of hyperbaric oxygen. *Neurol Res.* 2007, 29, 127-131
13. Mortensen, C. Hyperbaric oxygen therapy. *Curr Anaesth Crit Care* 2008, 19, 333-337.

14. Huang, L.; Obenaus, A. Hyperbaric oxygen therapy for traumatic brain injury. *Med Gas Res.* 2011, 1, 21.
15. Olex-Zarychta, D. Improvement of human reaction time with hyperbaric oxygen therapy. *J Case Rep Med Sci.* 2017, 3, 26-28.
16. Kenneth, P; Stoller, KP. Quantification of neurocognitive changes before, during, and after hyperbaric oxygen therapy in a case of fetal alcohol syndrome. *Pediatrics* 2005, 116, 586-591.
17. Harrison, B; Robinson, D; Davison, B J; Foley, B; Seda, E; Byrnes,WC. Treatment of exercise-induced muscle injury via hyperbaric oxygen therapy. *Med Sci Sports Exerc.* 2001, 33, 36-42.
18. Günther, A; Küppers-Tiedt, L; Schneider, PM; Kunert, I; Berrouscho, J; Schneider, D; Rossner, S. Reduced infarct volume and differential effects on glial cell activation after hyperbaric oxygen treatment in rat permanent focal cerebral ischaemia. *Eur J Neurosci.* 2005, 21, 3189-3194.
19. Bayoumy, A.B. ; De Ru, J.A. The use of hyperbaric oxygen therapy in acute hearing loss: a narrative review. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2019, 276, 1859–1880
20. Efrati, S; Ben-Jacob E. Reflections on the neurotherapeutic effects of hyperbaric oxygen. *Expert Rev Neurother.* 2014, 14, 233-236.
21. Efrati, S; Fishlev, G; Bechor, Volkov, O.; Bergan, J.; Kliakhandler, K.; Kamiager, I.; Gal, N.; Friedman, N.; Ben-Jacob, E.; Golan, H.. Hyperbaric oxygen induces late neuroplasticity in post stroke patients—randomized, prospective trial. *PLoS One* 2013, 8, e53716.
22. Imsuwansri, T; Poonsap, P; Snidvongs, K. Hyperbaric oxygen therapy for sudden sensorineural hearing loss after failure from oral and intratympanic corticosteroid. *Clin Exp Otorhinolaryngol.* 2012, 5, Suppl 1, 99-102.
23. Cvorovic, L; Jovanovic, M. B; Milutinovic, Z; Arsovic, N; Djeric, D. Randomized prospective trail of hyperbaric oxygen therapy and intratympanic steroid injection as salvage treatment of sudden sensorineural hearing loss. *Otol Neurotol.* 2013, 34, 1021-1026.
24. Quaranta, N.; De Ceglie, V.; D’Elia, A. Endothelia dysfunction in idiopathic sudden sensorineural hearing loss: a review. *Audiol Res.* 2016, 6, 151.
25. Mühlmeier, G.; Baguley, D.; Cox, T.; Suckfüll, M.; Meyer, T. Characteristics and spontaneous recovery of tinnitus related to idiopathic sudden sensorineural hearing loss. *Otol Neurotol.* 2016, 37, 6, 634-641
26. Khamvongsa, P.; Patel N.; Aziz Ali, A.; Bodoukhin, N.; Carreno, O. Using corticosteroids to treat sudden sensorineural hearing loss in pregnancy: A case report and literature review. *Case Rep Woman’s Health* 2020, 27, e00201
27. Bogaz E.A.; Maranhão, A.S.; Inoue, D.P.; Suzuki, F.A.; Penido, N. de O. Variables with prognostic value in the onset of idiopathic sudden sensorineural hearing loss. *Braz J Otorhinolaryngol.* 2015, 81(5), 520-6.

28. Gupta, S.; Wang, M.; Hong, B.; Curhan S.G.; Curhan, G.C. Birth weight and adult-onset hearing loss. *Ear Hear.* 2020, 41(5),1208-1214.
29. Liquan, C.; Gaohua, Z.; Zhanhui , Z. et al. Neutrophil-to-lymphocyte ratio predicts diagnosis and prognosis of idiopathic sudden sensorineural hearing loss: a systematic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore)* 2018, 97, e12492.
30. Liu, X. H.; Liang, F.; Jia, X.Y.; Zhao, L.; Zhou, Y.; Yang, J. Hyperbaric oxygen treatment improves hearing level via attenuating TLR4/NF- $\kappa$ B mediated inflammation in sudden sensorineural hearing loss patients. *Biomed Environ Sci.* 2020, 33(5), 331-337
31. Yang, C.H.; Hwang, C.F.; Yang, M.Y. et al. Expression of toll-like receptor genes in leukocytes of patients with sudden sensorineural hearing loss. *Laryngoscope* 2015, 125, E 382–7.
32. Chang, S.L.; Hsieh, C.C.; Tseng, K.S.; Weng, S.F.; Lin, Y.S. Hypercholesterolemia is correlated with an increased risk of idiopathic sudden sensorineural hearing loss: a historical prospective cohort study. *Ear Hear* 2014, 35(2), 256–261
33. Tabuchi, K.; Nishimura, B.; Tanaka, S.; Hayashi, K.; Hirose, Y.; Hara, A. Ischemia-reperfusion injury of the cochlea: pharmacological strategies for cochlear protection and implications of glutamate and reactive oxygen species. *Curr Neuropharmacol.* 2010, 8(2), 128–134
34. Shi, X. Physiopathology of the cochlear microcirculation. *Hear Res.* 2011, 282(1–2),10-24
35. Schreiber, E.B.; Agrup, C.; Haskard, D.O.; Luxon, L.M. Sudden sensorineural hearing loss. *The Lancet* 2010, 375, 1203-1211
36. Ganesan, P.; Kothandaraman, P.P.; Swapna, S. Manchaiah, V. A retrospective study of the clinical characteristics and posttreatment hearing outcome in idiopathic sudden sensorineural hearing loss. *Audiol Res.* 2017, 7(1), 168.
37. Ajduk, J.; Ries, M.; Tropic, R.; Marinac, I.; Vlatka, K.; Bedekovic, V. Hyperbaric oxygen therapy as salvage therapy for sudden sensorineural hearing loss. *J Int Adv Otol.* 2017, 13, 61–4
38. Rauch, S.D.; Halpin, C.F.; Antonelli, P.J.; Babu, S.; Carey, J.P.; Gantz, B. J.; Goebel, J.A.; Hammerschlag, P.E.; Jeffrey, P.; Harris, J.P.; Isaacson, B.; Lee, D.; Linstrom, C.J.; Parnes, L.S.; Shi, H.; Slattery, W.H.; Telian, S.A.; Vrabec, J.T.; Reda, D.J. Oral vs intratympanic corticosteroid therapy for idiopathic sudden sensorineural hearing loss. A randomized trial. *JAMA* 2011, 305(20), 2071-2079
39. Marx, M.; E. Younes, E.; Chandrasekhar, S.S.; Ito j.; Plontke, S.; O’Leary ,S. ; Sterkers, O. International consensus (ICON) on treatment of sudden sensorineural hearing loss. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis.* 2018 ,135,23–S28

40. Wang, Y.; Gao, Y.; Wang, B.; Chen, L.; Zhang, X. Efficacy and prognostic factors of combined hyperbaric oxygen therapy in patients with idiopathic sudden sensorineural hearing loss. *Am J Audiol*. 2019, 15; 28(1), 95-100.
41. Olex-Zarychta, D. Successful treatment of sudden sensorineural hearing loss by means of pharmacotherapy combined with early hyperbaric oxygen therapy. *Medicine* 2017, 96, 51 (e9397).
42. Fujimura T; Suzuki, H; Shiomori, T; Udaka, T; Mori, T. (2007). Hyperbaric oxygen and steroid therapy for idiopathic sudden sensorineural hearing loss. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2007, 264,861-866.
43. Hosokawa, S.; Hosokawa, K.; Takahashi, G.; Sugiyama, K.; Nakanishi, H.; Takebayashi, S.; Mineta, H. Hyperbaric oxygen therapy as concurrent treatment with systemic steroids for idiopathic sudden sensorineural hearing loss: a comparison of three different steroid treatments. *Audiol Neurootol*. 2018, 23(3),145–151
44. Hosokawa, S.; Sugiyama, K.; Takahashi, G.; Takebayashi, S.; Mineta, H. Prognostic factors for idiopathic sudden sensorineural hearing loss treated with hyperbaric oxygen therapy and intravenous steroids. *J Laryngol Otol*. 2017, 131(1),77–82
45. Krajcovicova, Z.; Melus, V.; Zigo, R.; Matisakova, I.; Vecera, J.; Kaslikova, K. Efficacy of hyperbaric oxygen therapy as a supplementary therapy of sudden sensorineural hearing loss in the Slovak Republic. *Undersea Hyperb Med J Undersea Hyperb Med Soc* 2018, 45(3),363–370
46. Cho, I.; Lee, H.M.; Choi, S.W.; et al. Comparison of two different treatment protocols using systemic and intratympanic steroids with and without hyperbaric oxygen therapy in patients with severe to profound idiopathic sudden sensorineural hearing loss: a randomized controlled trial. *Audiol Neurootol* 2018, 23(4),199–207
47. Eryigit B, Ziylan F, Yaz F, Thomeer H. The effectiveness of hyperbaric oxygen in patients with idiopathic sudden sensorineural hearing loss: a systematic review. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2018, 275(12), 2893–2904
48. Yücel A.; Özbuğday, Y. Comparison of steroid treatment with and without hyperbaric oxygen therapy for idiopathic sudden sensorineural hearing loss. *J Audiol Otol*. 2020, 24(3): 127–132.
49. Sun, H.; Qiu, X.; Hu, J.; Ma, Z. Comparison of intratympanic dexamethasone therapy and hyperbaric oxygen therapy for the salvage treatment of refractory high-frequency sudden sensorineural hearing loss. *Am J Otolaryngol* 2018, 39(5), 531–535
50. McMonnies, C.W. Hyperbaric oxygen therapy and the possibility of ocular complications or contraindications. *Clin Exp Optom*. 2015, 98, 122-125.

### **OSIĄGNIĘCIE NR 3**

zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne lub artystyczne.

**wynalazek ; „Układ do monitorowania sposobu wykonywania ćwiczeń za pomocą ruchomego przyrządu do ćwiczeń”**

Twórca(y) wynalazku:

**DOROTA OLEX-ZARYCHTA, Akademia wychowania Fizycznego im. J. Kukuczki w Katowicach, Zakład Teorii i Metodyki Wychowania Fizycznego wkład twórczy 33%**

dr hab. inż. ROBERT KOPROWSKI Uniwersytet Śląski, Instytut Informatyki, Zakład Komputerowych Systemów Biomedycznych, wkład twórczy 33%

Prof. dr hab. inż. ZYGMUNT WRÓBEL, Uniwersytet Śląski, Instytut

Informatyki, Zakład Komputerowych Systemów Biomedycznych

wkład twórczy 34%

**Nr patentu: P 218450; patentu udzielono dokumentem patentowym z dnia 11.08.2015 na rzecz Uniwersytetu Śląskiego**

Omówienie osiągnięcia

**Osiągnięcie powstało w ramach współpracy międzyośrodkowej** – w ramach konsorcjum naukowego Uniwersytetu Śląskiego i Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach . Projekt był zgłoszony do finansowania w 3 konkursie projektów badawczych NCN (OPUS), nr proj. 164906, niefinansowany. Tytuł projektu: „Opracowanie nowatorskich urządzeń i metod treningu sensomotorycznego oraz ocena ich efektywności”. Opracowanie nowatorskiego urządzenia zostało ostatecznie sfinansowane w całości ze środków Uniwersytetu Śląskiego. Wynalazek jest efektem współpracy naukowej twórców w ramach współpracy międzyośrodkowej.

Przedmiotem wynalazku jest układ do ilościowego i w pełni automatycznego monitorowania sposobu wykonywania ćwiczeń, zwłaszcza sportowych lub rehabilitacyjnych, za pomocą ruchomego przyrządu do ćwiczeń mającego postać wydłużonego naczynia, częściowo wypełnionego cieczą. Wykonywanie ćwiczeń, zwłaszcza sportowych lub rehabilitacyjnych w warunkach niestabilności, w szerokim tego słowa znaczeniu, poprawia u ćwiczącego szybkość reakcji równoważnych i koordynację, co może również zapobiegać występowaniu urazów. Dostępne dotychczas urządzenia i przyrządy, przeznaczone do ćwiczeń w warunkach niestabilności nie posiadają żadnego miarodajnego, ilościowego wskaźnika stopnia wychylenia ćwiczącego czy też samego przyrządu. Powoduje to nie tylko trudności w analizie postępów ćwiczącego ale też przyrząd tego typu nie powinien być stosowany bez nadzoru specjalisty, ze względu na duże ryzyko błędu przy dokonywaniu subiektywnej oceny



postępów u ćwiczącego czy jego reakcji na kolejne stopnie trudności podczas wykonywania ćwiczeń. Znane ze stanu techniki są proste przyrządy gimnastyczne, za pomocą których można wywołać niestabilność podłoża jak na przykład piłka, o którą można oprzeć nogi podczas wykonywania klasycznych pompek. Są też inne znane, klasyczne przyrządy gimnastyczne, które można wykorzystać do generowania niestabilności podłoża, jednak żadne z nich nie umożliwiają wykonywania jakichkolwiek pomiarów parametrów ćwiczeń.

Ze stanu techniki (oferta Przedsiębiorstwa Handlowo-Usługowego TECHNOMEX Spółka z o.o. przedstawiona na stronie internetowej <http://www.biodex.pl/>) znane są też przyrządy umożliwiające przeprowadzanie ćwiczeń w warunkach niestabilności podłoża przy jednoczesnym wykonywaniu odpowiednich pomiarów, jednak są one stacjonarne, a przez to mało funkcjonalne i stosunkowo drogie. Z opisu patentowego US2009183929A1 znane jest urządzenie mobilne zawierające akcelerometr i żyroskop przeznaczone do monitorowania sposobu wykonywania przez operatora markerów na

tablicy. Urządzenie to może również być wyposażone w kamerę oraz układ zdalnego, bezprzewodowego przesyłania danych. Przeznaczenie wynalazku US2009183929A1 jest jednak tylko i wyłącznie do śledzenia ruchów w bardzo niewielkim obszarze. Dodatkowo nie została przewidziana możliwość śledzenia przez kamery markerów (dolnego i górnego końca) urządzenia. Nie można zatem analizować automatycznie jego położenia w przestrzeni całkowicie bezprzewodowo w szerokim zakresie ruchów. Z opisu patentowego JP2008026265A znana jest metoda śledzenia położenia głowy pacjenta narażonego na przemieszczenia (wibracje). Metoda ta jednak dotyczy śledzenia pacjenta a nie przyrządu do ćwiczeń i jest przeprowadzana w pomieszczeniu gdzie siedzi pacjent. W związku z tym pacjent nie tylko ma ograniczony zakres ruchów i jest w pozycji siedzącej ale też urządzenie umożliwia śledzenie tylko obszaru jego głowy a nie całego ciała. Rozwiązanie nie dotyczy śledzenia ruchów przyrządów do ćwiczeń. Z opisu patentowego DE10124242A1 znane jest rozwiązanie, które dotyczy monitorowania położenia pacjenta dwoma kamerami. Jednak to rozwiązanie jest przeznaczone jedynie do monitorowania położenia ciała pacjenta względem podłoża. Nie dotyczy ono procesu śledzenia markerów wykorzystując w tym celu analizę i przetwarzanie obrazów. Informacje o sposobie realizacji ćwiczeń w DE10124242A1 są przeprowadzane z wykorzystaniem głośników, pacjent ma kontakt z lekarzem poprzez mikrofon stanowiący jeden z punktów zastrzeżeń patentowych.

Z dotychczasowego stanu techniki znany jest również przyrząd w postaci wydłużonego naczynia, częściowo wypełnionego cieczą, przeznaczonego do ćwiczeń w warunkach niestabilności, ujawniony pod nazwą „attitube” (informacje dostępne na stronie internetowej producenta <http://www.attitube.ca/>). Przyrząd ten ma postać rury (przeważnie o długości ok. 2 metrów i średnicy 60, 70 i więcej mm) wypełnionej częściowo cieczą i zamkniętej na obu końcach. Ćwiczenie omawianym przyrządem polega najczęściej na trzymaniu go oburącz w taki sposób by wymusić stan równowagi przyrządu w poziomie. Przyrząd w obecnie znanej postaci nie umożliwia jednakże wykonywania jakiejkolwiek ilościowej oceny parametrów ruchów czy postępów ćwiczącego. Dotychczasowy stan techniki nie oferuje żadnego urządzenia pomiarowego, montowanego łącznie z przyrządem do ćwiczeń (m.in. w postaci wydłużonego naczynia wypełnionego cieczą), w warunkach niestabilności. Brakuje zatem mobilnych przyrządów przeznaczonych do wykonywania ćwiczeń w warunkach niestabilności, które umożliwią miarodajną kontrolę nie tylko przebiegu ćwiczenia ale też

postępów ćwiczącego, wyposażonych jednocześnie w zestaw wskaźników niezbędnych do archiwizacji czy porównywania wyników, mocowanych na stałe do przyrządu ćwiczącego. Rozwiązanie według wynalazku w postaci układu do ilościowego i w pełni automatycznego monitorowania sposobu wykonywania ćwiczeń, za pomocą ruchomego przyrządu do ćwiczeń mającego postać wydłużonego, obustronnie zamkniętego naczynia, częściowo wypełnionego cieczą, charakteryzuje się tym, że przyrząd do ćwiczeń wyposażony jest na obu jego końcach w markery oraz czujniki przyśpieszenia, ponadto układ zawiera kamerę lub korzystnie zespół kamer oraz komputer, z którym połączone są czujniki przyśpieszenia. Markery pełnią funkcję znaczników umożliwiających śledzenie ruchów przyrządu przez zespół kamer. Czujniki przyśpieszenia (akcelerometry) umożliwiają dodatkowy pomiar zmian przyśpieszenia, a tym samym śledzenia ruchów przyrządu niezależnie od udziału kamer i przekazują do komputera informację o stopniu odchylenia przyrządu od położenia równowagi. Korzystnie, czujniki przyśpieszenia połączone są z komputerem bezprzewodowo, co umożliwia automatyczny, bezprzewodowy pomiar stanu równowagi przyrządu. Układ według wynalazku posiada wiele zalet w stosunku do znanego stanu techniki, spośród których najważniejsze to:

- możliwość automatycznego, bezprzewodowego monitorowania sposobu wykonywania ćwiczeń, a co za tym idzie postępów ćwiczącego,
- możliwość zapewnienia sprzężenia zwrotnego między informacją o dokładności wykonywanych ćwiczeń a sygnałem np. dźwiękowym, który informowałby ćwiczącego o postępach i ewentualnie motywował do dalszych ćwiczeń.
- możliwość zdalnego, bezprzewodowego zadawania parametrów ćwiczeń ćwiczącemu, w taki sposób by był generowany sygnał (bodziec), na przykład dźwiękowy czy świetlny w momencie odchylenia przyrządu poza dopuszczalną (zadaną) granicę; umożliwiałoby to bieżącą i obiektywną kontrolę wykonywania ćwiczeń,
- możliwość analizy wady postawy jako pewnego patologicznego uprzywilejowania kierunków przez ćwiczącego w czasie wykonywania ćwiczeń,
- możliwość monitorowania wykonywania ćwiczeń oraz zadawania parametrów ćwiczeń równocześnie dla wielu przyrządów, ćwiczących w tym samym czasie,
- możliwość pełnej archiwizacji danych oraz ilościowej (nie jakościowej) oceny postępów ćwiczącego wraz z pełną analizą statystyczną.

Przedmiot wynalazku jest bliżej przedstawiony w przykładzie wykonania na rysunku (zał A), na którym fig. 1 przedstawia schemat poglądowy rozmieszczenia markerów, czujników przyśpieszenia oraz kamer względem ćwiczącego i przyrządu.

Przykładowy układ do monitorowania sposobu wykonywania ćwiczeń za pomocą ruchomego przyrządu 7 do ćwiczeń charakteryzuje się tym, że zawiera zespół kamer 1 i 2 oraz komputer 8, natomiast przyrząd 7 ma postać wydłużonego naczynia w kształcie rury, częściowo wypełnionego cieczą i wyposażony jest na obu jego zamkniętych końcach w markery 3 i 4 stanowiące znaczniki, umożliwiające śledzenie jego ruchów przez zespół kamer 1 i 2. Dodatkowo na końcach przyrządu 7 umieszczone są czujniki przyśpieszenia (akcelerometry) 5 i 6 umożliwiające dodatkowy pomiar zmian przyśpieszenia, a tym samym śledzenia ruchów przyrządu 7 niezależnie od udziału kamer 1 i 2, przekazujące informację o stopniu odchylenia przyrządu 7 od położenia równowagi i przesyłające te dane do komputera 8. Czujniki przyśpieszenia 5 i 6 zawierają przetwornik akcelerometryczny, moduł wstępnej analizy i

przetwarzania danych cyfrowych oraz moduł odpowiedzialny za ich bezprzewodowy przesył. Dane te są dalej odbierane przez komputer 8 i przetwarzane w celu oceny parametrów wykonywanych ćwiczeń. Poruszający się przyrząd 7, nachylony w stosunku do idealnego położenia równowagi, powoduje zmiany w składowych przyśpieszenia odczytywanego przez czujniki 5 i 6, które przesyłają tę informację bezprzewodowo do komputera 8. Niezależnie, markery 3 i 4 są śledzone przez kamery (odpowiednio) 1 i 2 umożliwiające śledzenie trajektorii ruchu przyrządu 7. W zależności od typu zastosowanych kamer oraz oświetlenia i indywidualnych warunków panujących w pomieszczeniu określony jest rozmiar sceny, obszaru pomieszczenia gdzie można przeprowadzać ćwiczenia wraz ze śledzeniem.

Siedzenie markerów przez kamery pozwala na przeprowadzenie dalszej analizy trajektorii ruchu przyrządu oraz archiwizację związanych z tym danych i dalsze ich przetwarzanie.

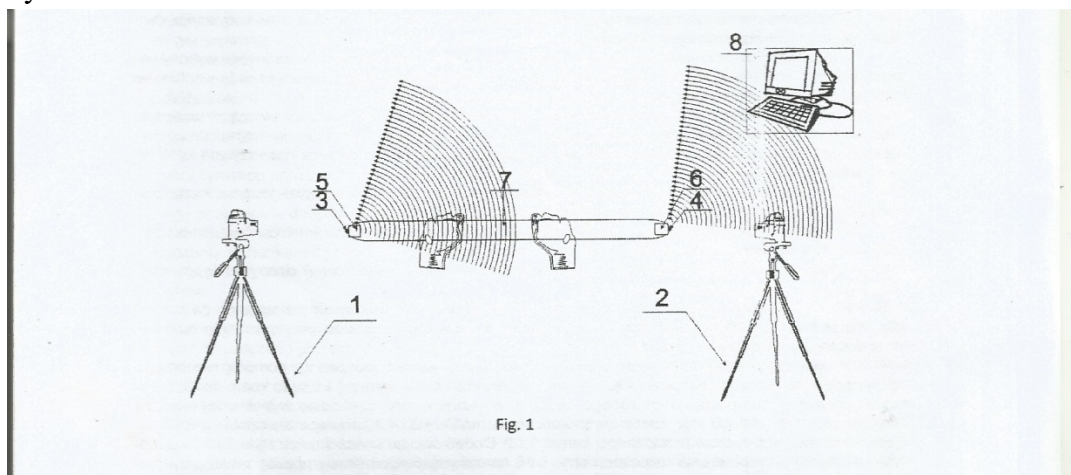
#### Zastrzeżenia patentowe

1. Układ do monitorowania sposobu wykonywania ćwiczeń za pomocą ruchomego przyrządu do ćwiczeń mającego postać wydłużonego, obustronnie zamkniętego naczynia, częściowo wypełnionego cieczą, znamieny tym, że przyrząd (7) wyposażony jest na obu jego końcach w markery (3) i (4) oraz czujniki przyśpieszenia (5) i (6), ponadto układ zawiera kamerę lub korzystnie zespół kamer (1) i (2) oraz komputer (8), z którym połączone są czujniki przyśpieszenia (5) i (6).

2. Układ według zastrz.. 1, znamieny tym, że czujniki (5) i (6) połączone są z komputerem (8) bezprzewodowo.

Układ przedstawiony jest na rysunku 1

Rysunek 1



Projekt został zgłoszony do urzędu Patentowego Rzeczypospolitej Polskiej. Na podstawie przepisów ustawy z dnia 30 czerwca 2000 Prawo własności przemysłowej został udzielony patent nr 218450 na wynalazek pt. Układ do monitorowania sposobu wykonywania ćwiczeń za pomocą ruchomego przyrządu do ćwiczeń. Paten został udzielony na rzecz Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, Katowice, Polska w dniu 11.08..2015

Dzieło projektowe będące efektem współpracy międzyośrodkowej i kooperacji twórców reprezentujących nauki o kulturze fizycznej i nauki techniczne ma znaczący wpływ na

rozwój bazy naukowej dla bezpiecznych i skutecznych sposobów rozwoju sprawności fizycznej ukierunkowanej na zdrowie ludzi w różnym wieku i o różnym poziomach potencjału motorycznego. We współczesnych społeczeństwach jednym z priorytetowych zadań zarówno w dziedzinie kultury fizycznej jak i inżynierii biomedycznej jest poszukiwanie skutecznych sposobów pomnażania zdrowia i sprawności fizycznej oraz profilaktyki pierwotnej urazów i chorób aparatu ruchu, a ten projekt wyszedł naprzeciw takim właśnie założeniom. Obiektywna ocena przebiegu i efektywności ćwiczeń usprawniających pracę narządów zmysłów- które w rzeczywistości mają wpływ na poprawę koordynacji niezbędnej do funkcjonowania człowieka we współczesnym świecie, pozwala na tworzenie naukowo udowodnionych, metodologicznych podstaw treningu sensomotorycznego jako sposobu prewencji pierwotnej chorób aparatu ruchu podczas aktywności sportowej i w życiu codziennym. W ten sposób wynik projektu w postaci urządzenia pozwalającego na zobiektywizowaną ocenę ćwiczeń przyczynił się do procesu poprawy jakości życia i zdrowia ludzi. Poprawa jakości życia i zdrowotności społeczeństwa pozostaje w zgodności z głównymi celami polityki prozdrowotnej w naszym kraju i we Wspólnocie Europejskiej, przy uwzględnieniu globalnego problemu hipokinezji w nowoczesnych społeczeństwach technologicznych. Opracowanie w ramach projektu mającego zdolność patentową trenażera stanowi cenny aplikacyjny wymiar współpracy badawczej twórców. Opatentowanie wynalazku daje możliwość wdrożenia do produkcji masowej stworzonego trenażera i co ma przełożenie na wpływ projektu na poprawę zdrowia ludzi i promowanie rodzimych rozwiązań technicznych do wykorzystania w różnych formach aktywności w kulturze fizycznej osób w różnym wieku.

Mój udział jako współautora projektu i współtwórcy wynalazku wynosi 33% . Byłam pomysłodawcą projektu i inicjatorem nawiązania współpracy z Zakładem Komputerowych Systemów Biomedycznych Uniwersytetu Śląskiego. Jako specjalista z zakresu nauk o kulturze fizycznej brałam czynny udział w opracowaniu koncepcji układu pomiarowego, tak aby było możliwe monitorowanie efektywności treningu sensomotorycznego w warunkach niestabilności. Opracowałam podstawy teoretyczne i biomedyczne zastosowania układu pomiarowego do monitorowania sposobu wykonywania ćwiczeń w ramach treningu sensomotorycznego, w oparciu o najnowszy stan poznania naukowego oraz o doświadczenia badawcze z eksperymentów i treningów prowadzonych na świecie w różnych dyscyplinach sportowych. Brałam aktywny udział w testowaniu prototypu i analizie wyników badań prowadzonych w ramach procesu twórczego. Szerokie opracowanie treningu sensomotorycznego było podstawą do wdrożenia odpowiednich rozwiązań technicznych niezbędnych do konstrukcji ruchomego przyrządu do ćwiczeń i układu pomiarowego w celu monitorowania efektywności różnych rodzajów ćwiczeń wykonywanych w warunkach niestabilności. Trening sensomotoryczny oparty jest na stymulacji automatyzmów sterowania i regulacji motorycznej związanych z kontrolą ustawienia segmentów ciała względem siebie oraz napięcia mięśniowego w czasie wykonywania czynności ruchowych. Ten rodzaj treningu bazuje na sztucznym i celowym indukowaniu odruchowych i/ lub świadomych reakcji nerwowo-mięśniowych regulujących napięcie mięśniowe i synergie mięśniowe w czasie wykonywania zadań na podłożu niestabilnym lub w ćwiczeniach ze specjalnym sprzętem treningowym np. elastycznymi drążkami (ćwiczenia kończyn górnych). Wymuszone reakcje

układu ruchu powodują stymulację receptorów i zwiększają reaktywność układów zmysłowych na bodźce zakłócające równowagę i stabilność ciała w czasie wykonywania zadań ruchowych. Pobudzanie odruchowych reakcji na różnych poziomach integracji (odruchów miota tycznych; tonicznych odruchów błędnikowych; dodatnich i ujemnych reakcji podparcia, antycypacyjnych reakcji posturalnych i a niekiedy również ruchów dowolnych wspomagających ) mających na celu utrzymanie równowagi i /lub określonej pozycji ciała w czasie świadomej realizacji celów etapowych treningu wpływa na kontrolę napięcia mięśniowego i koordynację ruchów utrwalając właściwe i pełne reakcje posturalne pomimo zmienności bodźcowania. W przeciwieństwie do tradycyjnego treningu siły trening sensomotoryczny stymuluje napięcie mięśniowe i koordynację ruchową w sposób komplementarny, pobudzając wiele grup mięśniowych naraz, stymulując odpowiednią sekwencyjność włączania się i wyłączania kolejnych grup mięśniowych w czasie wykonywania zadań. Trening ten sprzyja poprawie stabilności stawów i siły mięśniowej zaangażowanych grup mięśniowych poprzez redukcję niekorzystnego efektu kokontrakcji grup mięśniowych, powodującego przeciążenia i zwiększającego ryzyko urazów. Trening taki jest stosowany przy użyciu piłek gimnastycznych, grubych materacy i specjalnych przyrządów takich jak poduszki sensomotoryczne wypełnione cieczą lub powietrzem czy zestawów TRX do treningu z zawieszeniu, w celu wymuszenia stochastycznych zmian niestabilności podłoża. Do treningu kończyn górnych i obręczy barkowej stosowane są specjalne przybory o właściwościach elastycznych lub dające opór- wywołujących stochastyczne zmiany napięć mięśniowych. Zmiany warunków wykonania zadań powinny być różnorodne i nieprzewidywalne, gdyż w ten sposób tylko są stymulowane naturalne odruchowe mechanizmy dostosowań posturalnych, bez efektu napinania poszczególnych mięśni „z pamięci” – trening ten nie jest w założeniu uczeniem się poszczególnych reakcji, tylko zwiększeniem czułości receptorów w celu sprawniejszego ich reagowania w zmiennych sytuacjach. Korekty posturalne w czasie wykonywania zadań są dokonywane poprzez odruchowe mechanizmy integracyjne informacji pochodzących z wielu źródeł receptorowych: wzroku, układu przedsionkowego, układu czucia głębokiego (propriocepcja), a także z układu czucia powierzchniowego. Sygnały z receptorów są odbierane w czasie wykonywania ruchu, a następnie przesyłane do odpowiednich ośrodków w OUN i przetwarzane na różnych poziomach integracji (rdzeń kręgowy, twór siatkowaty rdzenia przedłużonego, mózdzek, kora mózgowa). Właściwa integracja sensoryczna, która jest celem treningu sensomotorycznego pozwala na realizację adekwatnej do obranego celu i bodźcowania reakcji ruchowej czyli skoordynowanej pracy efektorów, którymi w przypadku ruchu są mięśnie szkieletowe. W ostatnich latach naukowcy zwracają szczególną uwagę na stymulację układu proprioceptywnego w zapewnieniu zarówno odpowiedniej jakości ruchów jak i bezpieczeństwa aparatu ruchu zarówno w wychowaniu fizycznym jak i sporcie wyczynowym doceniając jego rolę w profilaktyce pierwotnej urazów. Trening sensomotoryczny wydaje się mieć również szczególne znaczenie w rehabilitacji ruchowej, gdzie traktowany jest jako ważny element profilaktyki wtórnej. Obecnie treningi sensomotoryczne są stosowane w procesie treningowym sportu wyczynowego, a szczególnie w zespołowych grach sportowych, gdzie wydaje się być wskazany jako profilaktyka urazów kończyn dolnych (Kynsburg i wsp. 2010; Donatelli, 2011; Zech i wsp.2010). Coraz częściej trening sensomotoryczny pojawia się też w sportowych zajęciach o charakterze rekreacyjnym

– jako uzupełnienie treningu siły i wytrzymałości różnych grup mięśniowych (Donatelli, 2011; Zech i wsp. 2009). Istnieje kilka odmian treningu sensomotorycznego, największe zainteresowanie dotyczy jednak treningu nerwowo-mięśniowego w warunkach niestabilnego podłoża. Ten rodzaj treningu zaliczany jest przez niektórych autorów do specyficznego siłowego treningu oporowego, gdyż ćwiczenia te stymulują rozwój siły różnych grup mięśniowych (szczególnie tzw. mięśni posturalnych) przede wszystkim poprzez poprawę nerwowej kontroli skurczu. Główną ideą ćwiczeń sensomotorycznych na niestabilnym podłożu jest wykorzystanie reakcji posturalnych własnego ciała do ćwiczeń utrzymania równowagi w miejscu (ćw. statyczne), w czasie wykonywania ruchu (ćw. dynamiczne) oraz w czasie wykonywania trudnych zadań ruchowych wymagających odpowiedniego standardu technicznego (ćw. funkcjonalne). Głównym środkiem stymulującym pracę receptorów (głównie proprioceptorów mięśni, stawów i ścięgien oraz błędniaka, ale można włączać oddziaływanie multisensoryczne do protokołu ćwiczeń) jest w tym rodzaju treningu niestabilne podłoże wymagające ciągłych dostosowań posturalnych- zarówno antycypacyjnych jak i korekcyjnych – w celu utrzymania wymaganej pozycji ciała w określonym czasie lub w czasie wykonywania zadanego ruchu. Punktem podparcia w ćwiczeniach może być dowolnie wybrana strefa ciała – np. stopy w pozycjach wysokich, dłonie i/lub stopy w podporach etc., w zależności od tego, jakie grupy mięśniowe czy strefy ciała będą docelowymi. Kontrola niestabilności poprzez zmiany ilości i/lub powierzchni płaszczyzn podparcia pomocna jest w dostosowaniu skali trudności ćwiczeń do możliwości ćwiczącego w kolejnych etapach treningu. Obok sugerowanych w literaturze pozytywnych efektów prewencyjnych treningu sensomotorycznego w warunkach niestabilności podłoża istnieje wiele kontrowersji dotyczących metodycznych podstaw tak prowadzonego treningu. Doniesienia wskazują, że u osób o niskim poziomie sprawności motorycznej w zakresie koordynacji ruchowej i u osób nie posiadających bogatych doświadczeń ruchowych (słabe opanowanie własnego ciała, mała siła i wytrzymałość mięśni) oraz osób po czasowym unieruchomieniu np. spowodowanym chorobą, urazem lub brakiem aktywności (hipokinezja czy akinezja) ten rodzaj treningu może spowodować ryzyko przeciążeń aparatu ruchu, urazów pierwotnych bądź wtórnych (Donatelli, 2011; Baur 2008). W przypadku treningu sensomotorycznego w warunkach niestabilnego podłoża brak jest dostatecznej liczby badań naukowych będących bazą do tworzenia podstaw metodycznych treningu nerwowo-mięśniowego zarówno w wychowaniu fizycznym, w sporcie jak i rehabilitacji. Trening jest prowadzony z użyciem sprzętu, który wymusza stochastycznie zmiany posturalne, ale w żaden sposób zakres tych zmian nie jest w czasie ćwiczeń kontrolowany zewnętrznie. Przykładowo, w ćwiczeniach na piłce gimnastycznej lub przyrządzie BOSU zarówno stopień, jak i zakres zmian niestabilności takiego podłoża, ani zakres efektywności ćwiczeń nie jest możliwy do przewidzenia ani przed ani w czasie ćwiczeń, pomimo dobrej znajomości specyfiki przyrządów i pełnej diagnozy zdrowia i sprawności osoby ćwiczącego. Nie ma np. żadnych ustalonych norm bezpiecznego stopnia niestabilności podłoża, ani danych referencyjnych dotyczących efektów ćwiczenia w zależności od poziomu niestabilności podłoża czy poziomu wyjściowej sprawności ćwiczącego (Baur 2008; Kynsburg i wsp. 2010). Jedyne dostępne ramowe protokoły ćwiczeń sensomotorycznych zostały przedstawione przez Fitzgeralda w 2000 roku (Fitzgerald i wsp., 2000). Należy jednak wspomnieć, że protokół ten został opracowany dla specyficznej grupy terapeutycznej – dla osób po urazach więzadła

krzyżowego kolana, w celach rehabilitacyjnych a nie pierwotnej profilaktyki dla osób zdrowych. Protokół tego autora zawiera jedynie ogólne zalecenia sformułowane na bazie własnych obserwacji i nielicznych cytowanych badań dotyczące czasu sesji treningowej i ogólnej charakterystyki ćwiczeń. Dotychczas nie zaproponowano natomiast żadnego modelu treningu sensomotorycznego dla osób zdrowych, o przeciętnym poziomie sprawności motorycznej, którego celem byłoby zwiększanie potencjału motorycznego w celu pierwotnej profilaktyki urazów aparatu ruchu oraz polepszanie jakości życia ćwiczących, zgodnie z koncepcją rozwijania sprawności fizycznej ukierunkowanej na zdrowie (health-related fitness, opis Osiński, 2003).

Celem podjęcia przeze mnie działań w ramach współpracy z Instytutem Informatyki Uniwersytetu Śląskiego w ramach projektu była istniejąca potrzeba jak najpełniejszej oceny efektywności różnych wariantów treningu sensomotorycznego na podłożu niestabilnym i treningu angażującego kończyny górne, która jest warunkiem koniecznym dla opracowywania założeń metodycznych bezpiecznego treningu sensomotorycznego w porcie i rekreacji. Tylko właściwa i obiektywna ocena efektywności ćwiczeń pozwoli w przyszłości na stworzenie algorytmów ćwiczeń dla osób w różnym wieku i o różnym poziomie sprawności motorycznej w celu stworzenia rzetelnych metodycznych podstaw treningu sensomotorycznego traktowanego jako sposób pomnażania zdrowia i profilaktyki pierwotnej urazów aparatu ruchu. Realizacja tak postawionego celu dalekosiężnego związana była z potrzebą zaprojektowania i stworzenia prototypów specjalistycznych urządzeń treningowych (trenażerów sensomotorycznych) pozwalających na programowanie i bieżącą kontrolę parametrów ćwiczenia: parametrów niestabilności, obciążeń zewnętrznych, reakcji poszczególnych elementów aparatu ruchu ćwiczącego itp. Prototyp urządzenia stworzony w ramach współpracy z wydziałem Inżynierii biomedycznej Uniwersytetu Śląskiego został zgodnie z założeniem wszystkich współtwórców zgłoszony w Urzędzie Patentowym RP.

## **5. INFORMACJA O WYKAZYWANIU SIĘ ISTOTNĄ AKTYWNOŚCIĄ NAUKOWĄ ALBO ARTYSTYCZNĄ REALIZOWANĄ W WIĘCEJ NIŻ JEDNEJ UCZELNI, INSTYTUCJI NAUKOWEJ LUB INSTYTUCJI KULTURY, W SZCZEGÓLNOŚCI ZAGRANICZNEJ.**

- I. Kierowanie projektami naukowymi i udział w projektach realizowanych w współpracy z ośrodkami i instytucjami

### **1. GRANT N404 04531/2332MNISW 2006-2010**

Projekt finansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, wyłoniony w 31 konkursie projektów badawczych, zakończony

Tytuł projektu: „Koordynacja ruchowa i jej podłoże neurofizjologiczne w aspekcie lateralizacji kończyn człowieka”

Rodzaj projektu: własny

Charakter udziału: **kierownik projektu i główny wykonawca**

## **2. Badania międzyośrodkowe 2011-2012**

W ramach konsorcjum naukowego Uniwersytetu Śląskiego i Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach

Projekt zgłoszony do finansowania w 3 konkursie projektów badawczych NCN (OPUS 3), nr proj. 164906, niefinansowany, zrealizowany

Tytuł projektu: „Opracowanie nowatorskich urządzeń i metod treningu sensomotorycznego oraz ocena ich efektywności”

Rodzaj projektu: własny

Charakter udziału: **wykonawca**

## **3. Konkurs “POMYSŁY” Europejskiej Rady Nauki 2010**

Udział w III konkursie projektów badawczych “Pomysły” IDEAS – Starting Grants, w ramach 7 Programu Ramowego UE; Inicjatywa Europejskiej Rady Nauki (ERC), niefinansowany

Tytuł projektu: „Social behaviors as predictors of neural and motor lateralization in human”

Rodzaj projektu: Starting grants ERC- 2010-StG nr projektu FP7-260191, niefinansowany

Charakter udziału: **kierownik projektu: (principal investigator)**

## **5. Międzynarodowy projekt „Paresthesia” 2012**

Projekt naukowy wydawnictwa In Tech, 51000 Rijeka, Chorwacja, którego celem było wydanie międzynarodowej monografii specjalistycznej dotyczącej zagadnienia parestezji. In Tech jest wydawcą książek i periodyków naukowych. Zajmuje się wydawnictwem książek i periodyków wysokiej jakości, które służą społeczności naukowców na całym świecie. Wybierając do współpracy autorów do wydawnictw In Tech stosuje rygorystyczne kryteria. In Tech wybiera jedynie specjalistów w danym obszarze naukowym w oparciu o zakres ich badań naukowych, osiągnięcia publikacyjne-spis dokonań naukowych udokumentowany znaczącym wkładem w literaturę naukową lub inne dowody dokonań w danej dziedzinie nauki oraz wpływ i jakość poprzednich publikacji. Po udanym spełnieniu tych wszystkich kryteriów dr Dorota Olex-Zarychta została imiennie zaproszona do udziału w przedsięwzięciu międzynarodowym mającym na celu wydanie książki pod tyt „Paresthesia” ISDN 97-953-307-150-2. Red: A. Lazanica, L.E.Imbelloni, M.Gouveia. Projekt zrealizowany, książka ukazała się drukiem ISBN 978-953-51-0085-0 w 2012 roku.

## **5. Międzynarodowy projekt „Audiology and Hearing Research Advances” 2019**

Projekt naukowy wydawnictwa Nova Science Publishers, Medicine & Health, New York, USA, którego celem było wydanie międzynarodowej monografii specjalistycznej z dziedzin nauki z obszaru nauk medycznych i o zdrowiu w ramach serii wydawniczej Audiology and Hearing Research Advances. Nova Publishers jest uznanym międzynarodowym wydawcą książek i periodyków naukowych. Wybierając do współpracy autorów do wydawnictw stosuje rygorystyczne kryteria. Nova wybiera jedynie specjalistów w danym obszarze naukowym w oparciu o zakres ich badań naukowych, osiągnięcia publikacyjne-spis dokonań naukowych udokumentowany znaczącym wkładem w literaturę naukową lub inne dowody dokonań w danej dziedzinie nauki oraz wpływ i jakość poprzednich publikacji. Udział w projektach Nova odbywa się tylko na imienne zaproszenie redaktorów prowadzących dany



projekt. Po udanym spełnieniu tych wszystkich kryteriów dr Dorota Olex-Zarychta została imiennie zaproszona do udziału w przedsięwzięciu międzynarodowym mającym na celu wydanie książki pod tyt „Sensorineural Hearing Loss – prevalence, risk factors and treatment”, gdzie zaproponowano omówienie zagadnienia hiperbarycznej oksygenacji stosowanej jako metody fizykalnej stosowanej w audiologii. Projekt zrealizowany, książka ukazała się drukiem ISBN 978-1-53614-475-8 w 2019 roku.

#### **6.Badania własne 2007-2009**

Projekt finansowany ze środków budżetowych w ramach badań własnych AWF Katowice, zakończony

Tytuł projektu: „Weryfikacja metod oceny lateralizacji funkcjonalnej kończyn opartych na mechanizmach neurofizjologicznych”

Rodzaj projektu: własny

Charakter udziału: **kierownik projektu**

#### **7.Badania własne 1999-2001**

Projekt finansowany ze środków budżetowych w ramach badań własnych AWF Katowice, zakończony

Tytuł projektu: „Lateralizacja funkcjonalna i siłowa kończyn człowieka”

Rodzaj projektu: własny

Charakter udziału: **kierownik projektu**

II Czynny udział w konferencjach naukowych

**IV Health Challenges Congress 2019** – Międzynarodowe Centrum Kongresowe Katowice, 7-8.03.2019

Organizator: Grupa PTWP SA; Miasto Katowice, NFZ, Naczelna Izba Lekarska

Wystąpienie: czynny udział w panelu dyskusyjnym „*Terapie-medycyna hiperbaryczna*”

**V Międzynarodowa Konferencja Naukowa: choroby cywilizacyjne a styl życia** Janów Podlaski, 19-20.05.2017

Organizator: Instytut Medycyny Wski w Lublinie, Katedra Kultury fizycznej i Fizjoterapii Państwowej Wyższej Szkoły im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej

Wystąpienie: D. Olex-Zarychta „*Aktywność fizyczna w zdrowym stylu życia- ważniejsza jest ilość czy jakość?*”

**12th International Scientific Conference of Sport Kinetics: Present and Future Research In the Science of Human Movement** – Kraków, 22-24.09.2011: Organizator: Akademia Wychowania Fizycznego im. B. Czecha w Krakowie ; Międzynarodowe Stowarzyszenie Motoryki Sportowej (IASK)

wystąpienie: D. Olex-Zarychta, R. Koprowski, Z. Wróbel “*Effectiveness of sensorimotor training for health adults – a pilot Project outline*”

**International Scientific Conference Motor Control III - Zakopane, 19-21.09.2008**

Organizator: Akademia Wychowania Fizycznego im.J.Kukuczki w Katowicach

wystąpienie: D. Olex-Zarychta, G. Sobota, J. Błaszczyk, J. Kułdosz *“Parameters of soleus H-reflex and functional laterality of lower extremities in healthy adults”*

**24<sup>th</sup> International Council for Physical Activity and Fitness Research Symposium - Wrocław, 09-11.09.2006:**

Organizator: International Council for Physical Activity and Fitness Research; Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu

wystąpienie: D. Olex, G. Juras, M. Najder: *“Differences in motor co-ordination in pairs of monozygotic twins”*

**International Scientific Conference Motor Control II - Wisła, 22-24.10.2004**

Organizator: Akademia Wychowania Fizycznego im.J.Kukuczki w Katowicach

Wystąpienie: D. Olex: *“The H-reflex as an useful tool in laterality evaluation-a preliminary case study”*

**International Conference Sport Kinetics 2003- Rydzyna k/Leszna, 19-21.09.2003**

Organizator: Międzynarodowe Stowarzyszenie Motoryki Sportowej (IASK) Akademia Wychowania Fizycznego im. E. Piaseckiego w Poznaniu, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Lesznie

wystąpienie: D. Olex: *„Laterality and the frequency of handmovements”*

**Konferencja Naukowa: Model zdrowego stylu życia jako zadanie interdyscyplinarne: Lublin 23-25.05.2003**

Organizator: Uniwersytet Marii Curie- Skłodowskiej; Akademia Medyczna, Lublin

Wystąpienie: D. Olex, W. Garbaciak: *“Diagnosis of university students’ lifestyle by the polish adaptation of the „Lifestyle questionnaire”*

**6<sup>th</sup> International Conference on Quantitative Infrared Tomography - QIRT 2002, Dubrownik, Chorwacja 24-27.09.2002;**

organizator : University of Zagreb

wystąpienie:R. Koprowski, H. Konik, Z. Wróbel, D. Olex: *“Diagnostics of the effectiveness of stretching exercises by means of the analysis of thermovisual image”*

**International Scientific Conference Motor Control - Bielsko- Biała.27-29.10.2000**

Organizator: Akademia Wychowania Fizycznego im.J. Kukuczki w Katowicach; Polskie Towarzystwo Nauk o Kulturze Fizycznej

wystąpienie:D. Olex: *„Rhythm capability in uni and bilateral performance of upper and lower extremities in human”*

**Konferencja Naukowa „Zabawa ruchowa szansą na zdrowe życie” Warszawa, 22. 06.1998**

Organizator: Akademia Wychowania Fizycznego im. J. Piłsudskiego w Warszawie

wystąpienie: D. Olex, D. Groffik: *„Gry i zabawy dydaktyczne z różnych obszarów edukacyjnych i ich zastosowanie w lekcjach wychowania fizycznego”*

**III Konferencja Naukowa Aktywność ruchowa ludzi w różnym wieku** – Szczecin, 4-5.12.1998

Organizator: Uniwersytet Szczeciński, Instytut Wychowania Fizycznego; PTNKF  
wystąpienie D. Olex, M. Czechowski: „*Walory oferty prywatnych klubów rekreacyjnych Warszawy i Katowic dla rozwoju rekreacji rodzinnej*”

**XXVI Konferencja Naukowo-Methodyczna:** Lekcja wychowania fizycznego – Poznań, 21.11.1997

Organizator: Akademia Wychowania Fizycznego im. E. Piaseckiego w Poznaniu  
Wystąpienie: D. Olex: „*Celowość i możliwości wprowadzenia integracji przedmiotowej wychowania fizycznego z innymi przedmiotami w szkole w świetle eksperymentu pedagogicznego*”

**I Międzynarodowa Konferencja Naukowa:** „Morfologiczne i fizjologiczne uwarunkowania rozwoju fizycznego, motorycznego, zdrowia oraz wydolności fizycznej” Częstochowa, 15-16.12.1997

Organizator: Wyższa Szkoła Pedagogiczna, Częstochowa  
wystąpienie H. Stokłosa, D. Olex: „*Dokładność odwzorowania figur geometrycznych prawą i lewą ręką u dzieci 3, 4 i 5 letnich*”

## **6. INFORMACJA O OSIĄGNIĘCIACH DYDAKTYCZNYCH, ORGANIZACYJNYCH ORAZ POPULARYZUJĄCYCH NAUKĘ LUB SZTUKĘ.**

I osiągnięcia dydaktyczne

### **A. Prowadzone zajęcia dydaktyczne na poziomie akademickim**

- Metodyka wychowania fizycznego
- Komunikacja społeczna i negocjacje
- Negocjacje i mediacje w praktyce pedagogicznej
- Dydaktyka przedmiotowa wychowania fizycznego
- Stymulacja psychomotoryczna dziecka w wieku przedszkolnym i wczesnoszkolnym
- Kształtowanie sprawności motorycznej dziecka
- Teoria i metodyka nowoczesnych zajęć rekreacyjnych fitness
- Edukacja zdrowotna

### **B. Autorskie opracowania programów nauczania**

- Opracowanie autorskiego programu przedmiotu „Negocjacje i mediacje w praktyce pedagogicznej” dla studentów studiów II stopnia wychowania fizycznego AWF Katowice, w ramach oferty przedmiotów do wyboru, w

ramach przedmiotów teoretycznych z obszaru nauk humanistyczno-społecznych, 2015

- Opracowanie autorskiego programu oraz sylabusu przedmiotu Komunikacja społeczna i negocjacje, dla studiów II stopnia fizjoterapii AWF Katowice 2014
- opracowanie autorskiego programu obozu szkoleniowego GWSH kierunku pedagogika, specjalność edukacja wczesnoszkolna i wychowanie fizyczne 2012
- opracowanie autorskiego programu studium uzupełniającego rekreacji ruchowej w zakresie nowoczesnych form muzyczno –ruchowych dla studiów dziennych i zaocznych AWF Katowice 2001
- opracowanie minimum programowego wszystkich kursów instruktorskich fitness organizowanych pod patronatem AWF Katowice w latach 2000-2004
- opracowanie autorskiego programu kursu instruktora rekreacji ruchowej ze specjalnością fitness w różnych formach gimnastyki realizowanego w AWF Katowice 2000-2004
- opracowanie autorskiego programu zajęć w zakresie stymulacji psychomotorycznej dziecka realizowanych w UŚ w Katowicach i WSB w Dąbrowie Górniczej 2007-2010

### **C. Kształcenie kadr naukowych i kadr kultury fizycznej**

Opieka naukowa nad studentami: wypromowani absolwenci - magistry, licencjaci, dyplomanci w latach 2003-2021 ok. 40 osób

Wyszkoleni instruktorzy rekreacji ruchowej ze specjalnością fitness w różnych formach gimnastyki w latach 2000-2005 : ok. 120 osób

### **D. Organizacja i/lub prowadzenie kursów, szkoleń i warsztatów metodycznych**

#### Warsztaty mediacji szkolnych i rówieśniczych

Zorganizowane we współpracy ze Śląskim Centrum Mediacji w Katowicach oraz Unię Regionalnych Centrów Mediacji dla studentów wydziału wychowania fizycznego AWF Katowice 27.11-18.12.2015 w celu przygotowania studentów do realizacji praktyk pedagogicznych w zakresie rozwiązywania sytuacji trudnych i konfliktów uczniowskich poprzez mediacje klasyczne.

#### Warsztaty metodyczne z zakresu kształtowania sprawności motorycznej dziecka

w edukacji zintegrowanej dla studentów pedagogiki o specjalności edukacja wczesnoszkolna z wychowaniem przedszkolnym (17.01.2007), współpraca z Instytutem Pedagogiki Wydziału Pedagogiki i Psychologii Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach.

Warsztaty metodyczne dla nauczycieli wychowania fizycznego miasta Bytomia  
z zakresu nowoczesnych form muzyczno-ruchowych: „Metodyczne podstawy tańca z pomponami cheerleaders” (20.06.2006), współpraca z Regionalnym Ośrodkiem Metodycznym WOM w Katowicach i doradcą Metodycznym Miasta Bytomia p. I. Kawą

Kurs instruktora rekreacji ruchowej ze specjalnością fitness  
część specjalistyczna kursu, współpraca z Centrum Doskonalenia Zawodowego Akademii Wychowania Fizycznego im. J. Kukuczki w Katowicach (2000 – 2005), kierownik kursu

Warsztaty metodyczne dla nauczycieli wychowania fizycznego Gminy Tychy i okolic  
z zakresu nowoczesnych form muzyczno-ruchowych: „Podstawy tańca cheerleaders” (10.03-05.05.2004), współpraca z Regionalnym Ośrodkiem Metodycznym WOM w Katowicach, Miejskim Zarządem Oświaty w Tychach i Doradcą Metodycznym wychowania fizycznego p. B. Tandecką

Warsztaty metodyczne dla nauczycieli wychowania fizycznego Gminy Tychy i okolic  
z zakresu nowoczesnych form muzyczno – ruchowych: podstawy aerobiku edycja I i II (14.05-11.06.2003 oraz 05.11-26.12.2003) , współpraca z Regionalnym Ośrodkiem Metodycznym WOM w Katowicach, Miejskim Zarządem Oświaty w Tychach i Doradcą Metodycznym wychowania fizycznego p. B. Tandecką

## **E. Uczestnictwo w programach europejskich i innych programach międzynarodowych lub krajowych na rzecz dydaktyki**

### Udział w programie ERASMUS+

Prowadzenie zajęć w języku angielskim z przedmiotu Metodyka wychowania fizycznego dla studentów zagranicznych studiujących w ramach programu w Akademii wychowania fizycznego im. J. Kukuczki w Katowicach ( 2013-2017)

### Udział w programie ERASMUS+

W ramach projektu międzynarodowego realizowanego z Republiką Czeską –Collaborative Partnerships Not-for –profit European Sport Events projekt EAC/ A04/2015 Wannabe. Byłam współautorką wniosku projektowego w części dotyczącej udziału Akademii wychowania Fizycznego im. J. Kukuczki w Katowicach w tym przedsięwzięciu (2016)

### Udział w 7 Ramowym Programie Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego (EFS)

Prowadzenie zajęć dydaktycznych w ramach Podyplomowych Studiów Wychowania Fizycznego dla nauczycieli w ramach drugiej specjalizacji – projekt realizowany przez Uniwersytet Śląski w Katowicach we współpracy z AWF Katowice (2002- 2004)

### Opieka nad uczestnikami programu SOCRATES

Prowadzenie zajęć i opieka nad studentami studiującymi wychowanie fizyczne w AWF Katowice i nauczycielami odbywającymi staże w AWF Katowice (goście z Portugalii, 2009-2010)

## **F.Uczestnictwo w konferencjach i szkoleniach na rzecz dydaktyki**

**Ogólnopolska Konferencja Dydaktyki Akademickiej IDEATORIUM**, Gdańsk 9-10.04.2015

Organizator: Wydział Biologii Uniwersytetu Gdańskiego

Wystąpienie: D. Olex-Zarychta, A. Stachura, *„Oczekiwania studentów dotyczące oferty edukacyjnej uczelni w zakresie rozwoju kompetencji społecznych- raport z badań rynku i opinii społecznej dla awf katowice”*

**Konferencja Ogólnopolskiej Kampanii Mediacyjnej.** p.t. „Zgoda- prezent na Dzień Dziecka, Katowice-Kraków 29-30.05.2014

organizator: Śląskie Centrum Mediacji, Małopolskie Centrum Mediacji, Polski Instytut Mediacji Sp z o.o, Unia Regionalnych Centrów Mediacji

Wystąpienie: D. Olex-Zarychta, *„Mediacje szkolne i rówieśnicze: Stan faktyczny, bariery i szanse”*

**IV Konferencja Regionalna dla nauczycieli, regionalistów oraz osób prowadzących zajęcia z dziećmi i młodzieżą** p.t. „Człowiek potrzebuje korzeni i skrzydeł – w poszukiwaniu zapomnianych autorytetów.” Katowice, 18.09.2014

organizator: Regionalny Ośrodek Metodyczno –Edukacyjny Metis w Katowicach

**Konferencja Metodyczno-Szkoleniowa dla nauczycieli województwa Śląskiego**

p.t. „Czynniki środowiskowe w efektywność pracy nauczyciela” Katowice, 16.10.2006

organizator: Regionalny Ośrodek Metodyczny WOM Katowice

Wystąpienie: D. Olex-Zarychta, *„Ruch to zdrowie”*

**Konferencja Metodyczno-Szkoleniowa dla nauczycieli wychowania fizycznego**

p.t. „Efekty Kształcenia i Wychowania w Kulturze Fizycznej” Katowice, 25.11 i 02.12.2005

organizatorzy: PTNKF, AWF Katowice i Doradca Metodyczny Miasta Katowic

Wystąpienie: D. Olex-Zarychta *„Dziecko leworęczne na lekcji wychowania fizycznego”*

**Ogólnopolska Konferencja Metodyczna**

p.t. „Nowatorstwo pedagogiczne w wychowaniu fizycznym”. Szczecin 06-07.06.1997

organizator: ZG PTNKF, Centrum Doskonalenia Zawodowego Nauczycieli w Szczecinie

Wystąpienie: D. Olex *„Integracja organizacyjno-tematyczna w lekcji wf i biologii w szkole podstawowej na przykładzie zajęć p.t. Jak zastosować w praktyce wiedzę o racjonalnym odżywianiu się?”*

## **G.Udział w zespołach eksperckich i konkursowych**

- członek komisji dziekańskiej ds. przygotowania wniosku konkursowego o dofinansowanie projektów w ramach konkursów 1/NPK/POWER/3.1./2016 na nowe programy kształcenia organizowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju jako instytucji pośredniczącej

dla osi III Szkolnictwo wyższe dla gospodarki i rozwoju PO Wiedza-Edukacja-Rozwój 2014-2020 w ramach działania 3.1. Kompetencje w Szkolnictwie Wyższym POWER (2016)

- członek komisji dziekańskiej ds. przygotowania wniosku konkursowego o dofinansowanie projektów w ramach konkursów 2/PRK/POWER/3.1./2016 na nowe programy kształcenia organizowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju jako instytucji pośredniczącej dla osi III Szkolnictwo wyższe dla gospodarki i rozwoju PO Wiedza-Edukacja-Rozwój 2014-2020 w ramach działania 3.1. Kompetencje w Szkolnictwie Wyższym POWER. Koordynator projektu – Dorota Olex-Zarychta (2016)

- Przewodnicząca Komisji Sędziowskiej Mistrzostw Katowic Szkół Ponadgimnazjalnych w aerobiku sportowym, organizatorzy: Szkolny Związek Sportowy o Katowice, Międzyszkolny Ośrodek sportowy w Katowicach, X Liceum ogólnokształcące w Katowicach im. I. Paderewskiego 2003-2014

- Przewodnicząca Komisji Sędziowskiej I Akademickich Mistrzostw Śląska w Aerobiku Sportowym (2010)

- Członek Komisji Sędziowskiej Akademickich Mistrzostw Polski w Aerobiku Sportowym w latach, powołanie Zarząd Główny AZS (2008-2009)

- Przewodnicząca Komisji Sędziowskiej Turnieju Zespołów Szkolnych w Aerobiku o puchar Dyrektora Miejskiego Zarządu Oświaty w Tychach (2006)

- członek komisji Egzaminacyjnej olimpiady przedmiotowej z języka angielskiego dla szkół podstawowych, powołanie przez Kuratorium Oświaty w Katowicach (1997-1998)

## **H. Publikacje zwarte na rzecz dydaktyki – podręczniki i skrypty**

1. **D. Olex.** Fitness – metodyka i praktyka. Podręcznik dla instruktorów fitness. Górnośląska Oficyna Wydawnicza, 2001
2. **D. Olex-Zarychta.** Fitness: teoretyczne i metodyczne podstawy prowadzenia zajęć. Podręcznik dla studentów wychowania fizycznego i instruktorów fitness. Wydanie I. Wyd. G&D. Gębka, Gliwice, 2002
3. **D. Olex-Zarychta.** Fitness: teoretyczne i metodyczne podstawy prowadzenia zajęć. Podręcznik dla studentów wychowania fizycznego i instruktorów fitness. Wydanie II. Wyd. G&D. Gębka, Gliwice, 2005
4. R. Litkowycz, **D. Olex-Zarychta.** Uczymy grać w koszykówkę: technika, taktyka, metodyka nauczania w lekcjach wychowania fizycznego. Cz I indywidualny atak. AWF Katowice, 2006
5. R. Litkowycz, **D. Olex-Zarychta.** Uczymy grać w koszykówkę: technika, taktyka, metodyka nauczania w lekcjach wychowania fizycznego. Cz II Obrona indywidualna i zespołowa. AWF Katowice, 2009
6. **D. Olex – Zarychta.** Fitness: teoretyczne i metodyczne podstawy prowadzenia zajęć. Podręcznik dla studentów wychowania fizycznego i instruktorów fitness. Wydanie III uzupełnione. Wyd. G&D Gębka, Gliwice, 2009

7. **D. Olex-Zarychta.** Komunikacja społeczna i negocjacje: materiały dydaktyczne dla studentów studiów II stopnia fizjoterapii. Wyd. AWF Katowice, 2019

## II Osiągnięcia organizacyjne i popularyzatorskie

### **A.Współpraca z organizacjami i instytucjami na rzecz popularyzacji nauki i kultury fizycznej**

- Współpraca z Marketing Research Group i Śląskim Centrum Mediacji Małopolskim Centrum Mediacji i Unią Regionalnych centrów Mediacji Organizacja i koordynacja badań terenowych w ramach pilotażowego projektu rozwoju kompetencji społecznych studentów kierunku wychowanie fizyczne AWF Katowice – tytuł projektu „Mediacje szkolne i rówieśnicze- wprowadzenie do mediacji” 27.11-18.12.2014
  
- Współpraca z Akademickim Związkiem Sportowym – Zarządem Głównym i organizacjami środowiskowymi AZS w Katowicach i Wrocławiu  
Pełnienie roli sędziego na akademickich Mistrzostwach Polski w Aerobiku sportowym w latach 2008-2012; udział w organizacji i pełnienie roli Przewodniczącej Komisji Sędziowskiej na I Akademickich Mistrzostwach Śląska w Aerobiku Sportowym w 2011 roku
  
- Współpraca z Instytutem Pedagogiki Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach zorganizowanie warsztatów z zakresu kształtowania sprawności motorycznej dziecka w edukacji zintegrowanej dla studentów Wydziału Pedagogiki i Psychologii, Instytutem Pedagogiki Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, specjalność edukacja wczesnoszkolna i wychowanie przedszkolne (17.01. 2007)
  
- Współpraca z Miejskim Przedszkolem nr 3 w Katowicach  
pełnienie roli przewodniczącej zespołu organizatorów cyklu imprez sportowo-edukacyjnych dla dzieci w wieku przedszkolnym organizowanych wspólnie przez AWF Katowice i MP nr 3 w Katowicach, (od 2006- 2015 , impreza coroczna cykliczna)
  
- Współpraca z Międzyszkolnym Ośrodkiem Sportowym w Katowicach i X LO im. J. Paderewskiego w Katowicach  
udział w organizacji Mistrzostw Katowic Szkół Ponadgimnazjalnych w Aerobiku Sportowym: ( 2003- 2014, impreza coroczna cykliczna)
  
- Współpraca z PTNKF oddział Katowice  
Udział w przygotowaniu i przeprowadzeniu konferencji metodyczno-naukowych dla nauczycieli wychowania fizycznego p.t. „Efekty kształcenia i wychowania w kulturze fizycznej” – prezentacja multimedialna p.t. „Dziecko leworęczne na lekcji wychowania fizycznego” – 25.11. 2005 i 02.12.2005
  
- Współpraca z AWF i Urzędem Miasta Katowice  
a) udział w przygotowaniu i przeprowadzeniu imprezy sportowej w ramach Maratonu Silesia 2009 – organizacja Sztafety Maratońskiej Dzieci i Młodzieży na Stadionie Śląskim w Chorzowie, 03.05.2009 – organizator AWF Katowice. Urząd Miasta Katowice i 4 Energy



b) organizacja Sztafety Dziecięcej w ramach Katowickiego Festiwalu Biegowego im. J. Kukuczki organizowanego przez AWF Katowice i Urząd Miasta Katowice –03-04.10.2009

c) opracowanie projektu organizacyjnego oraz kierowanie zespołem przygotowującym imprezę sportowo-edukacyjną dla dzieci w wieku przedszkolnym „Spotkanie z Królową Sportu” jako imprezy towarzyszącej uroczystemu otwarciu zmodernizowanego stadionu lekkoatletycznego AWF Katowice przy ul. Kościuszki w Katowicach – 21.10. 2009

- Współpraca z Regionalnym Ośrodkiem Doskonalenia Nauczycieli „WOM” w Katowicach  
a) przy przeprowadzeniu warsztatów metodycznych cheerleaders dla nauczycieli wychowania fizycznego miasta Bytomia 04.2009

b) przy przeprowadzeniu konferencji metodyczno-szkoleniowej dla nauczycieli woj. śląskiego p.t. „Czynniki środowiskowe w efektywność pracy nauczyciela” – przygotowanie i przedstawienie prezentacji multimedialnej p.t. „Ruch to zdrowie” dla celów dydaktycznych i popularyzatorskich zaprezentowana na konferencji dnia 16.10.2006

-Współpraca z WOM Katowice, Miejskim zarządem Oświaty w Tychach i Doradcą Metodycznym wychowania fizycznego miasta Tychy mgr B. Tandecką

a) Organizacja warsztatów metodycznych dla nauczycieli Gminy Tychy i rejonu p.t. „Muzyczne formy aktywności ruchowej –podstawy aerobiku” 14.05-11.06.2003

b) Organizacja warsztatów metodycznych dla nauczycieli Gminy Tychy i rejonu p.t. „Muzyczne formy aktywności ruchowej –podstawy aerobiku/ II edycja” – 05.11 - 26.12.2003

c) Taniec zespołowy z pomponami cheerleaders 10.03-05.05.2004

## **B. Pełnione funkcje akademickie i społeczne**

Członek Komisji dyscyplinarnej dla uczestników Studiów doktoranckich AWF Katowice (2016-2020)

Członek Komisji Nagród dla nauczycieli akademickich, AWF Katowice, (2014-2019)

Członek Wydziałowej Komisji ds. Nostryfikacji Dyplomów, AWF Katowice, Wydział Wychowania Fizycznego (2009 – 2012)

Członek Komisji Socjalnej AWF Katowice (2014-2019)

Przewodnicząca Zakładowej Organizacji Związkowej NSZZ Solidarność AWF Katowice (2014-2019)

Członek Międzynarodowego Komitetu Wydawniczego czasopisma naukowego Neural Regeneration Research (od 2009- 2012)

Sędzia Akademickiego Aerobiku Sportowego AZS i PZG (od 2008)

Członek Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej, Wydział Wychowania Fizycznego Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach (2000-2003)

III Inne twórcze prace zawodowe

**D. Olex-Zarychta** (scenariusz; reżyseria). Impreza rekreacyjna z okazji Dnia Dziecka. Organizacja. Film dydaktyczny, 2011, 40 min

**D. Olex-Zarychta.** „Ruch to zdrowie”. Prezentacja multimedialna dla celów dydaktycznych i popularyzatorskich zaprezentowana po raz pierwszy na konferencji metodyczno-szkoleniowej dla nauczycieli woj. Śląskiego p.t. „Czynniki środowiskowe w efektywność pracy nauczyciela” zorganizowanej przez WOM Katowice, 16.10.2006

**D. Olex-Zarychta.** „Dziecko leworęczne na lekcji wychowania fizycznego”. Prezentacja multimedialna dla celów dydaktycznych i popularyzatorskich zaprezentowana po raz pierwszy na konferencji metodyczno-szkoleniowej „Efekty Kształcenia i wychowania w kulturze fizycznej” zorganizowanej przez PTNKF, AWF Katowice i Doradcę Metodycznego Wychowania Fizycznego Miasta Katowice 02. 12. 2005

**D. Olex** (scenariusz, reżyseria, zdjęcia). Gry dydaktyczne w lekcji wychowania fizycznego. Film dydaktyczny, AWF Katowice 2000, 20 min

**D. Olex** (scenariusz, reżyseria). Nowoczesne formy muzyczno ruchowe. Film dydaktyczny, AWF Katowice 2000, 22 min

**D. Olex** (scenariusz, zdjęcia). Wykorzystanie przyborów i przyrządów w lekcji wychowania fizycznego. Film dydaktyczny, AWF Katowice 1999, 25 min

**D. Olex** (scenariusz, zdjęcia). Ciekawe gry i zabawy z przyborami. Film dydaktyczny, AWF Katowice 1999, 18 min

## **7. MIĘDZYKRAJOWE I KRAJOWE NAGRODY/ WYRÓŻNIENIA ZA DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWĄ I DYDAKTYCZNĄ**

**2021** - Indywidualna nagroda Rektora Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach III stopnia przyznana za osiągnięcia naukowe

**2016** -- Indywidualna nagroda Rektora Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach III stopnia przyznana za osiągnięcia dydaktyczne

**2015**- Indywidualna nagroda Rektora Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach I stopnia przyznana za osiągnięcia dydaktyczne

**2011** - Indywidualna nagroda Rektora Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach II stopnia przyznana za osiągnięcia naukowe

**2011** - Imienne zaproszenie jako invited speaker i członek komitetu naukowego na III Światowym Kongresie Neuro- Talk 2012 w Beijing 11-14. 05.2012

**2010** - Dyplom gratulacyjny i umieszczenie noty biograficznej w 27 edycji Marquis' Who'sWho In the World 2010

**2010** - Indywidualna nagroda Rektora Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach I stopnia przyznana za wyróżniające osiągnięcia naukowe

**2010** - Imienne zaproszenie jako invited speaker i prowadzącego sesję na I Światowym Kongresie Neuro-Talk 2010 w Singapore Expo 20-24 10.2010

**2009** - Nominacja na recenzenta i członka międzynarodowego komitetu wydawniczego czasopisma indeksowanego w JCR – Neural Regeneration Research

**2009** - Indywidualna nagroda Rektora Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach I stopnia przyznana za wyróżniające osiągnięcia naukowe

**2004** – Brązowa odznaka „Za zasługi dla sportu” przyznana przez Ministra Edukacji Narodowej i Sportu Rzeczypospolitej Polskiej legitymacja nr B-189/2004

**2002** - Indywidualna nagroda Rektora Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach I stopnia przyznana za pracę doktorską

**1998**- Indywidualna nagroda Rektora Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach I stopnia przyznana za znaczący dorobek naukowy i metodyczny

**1997**- Wyróżnienie w II ogólnopolskim konkursie „Nowatorstwo pedagogiczne w wychowaniu fizycznym” organ ozwanym przez Zarząd Główny Polskiego Towarzystwa Nauk Kultury Fizycznej w Warszawie