

UNIwersytet Medyczny

IM. PIASTÓW ŚLĄSKICH WE WROCLAWIU

Wpływ przezczaszkowej stymulacji niskonapięciowym prądem stałym na funkcje psychomotoryczne w ramach treningu laparoskopowego

Piotr Lepka

ROZPRAWA DOKTORSKA

PROMOTOR

prof. dr hab. n. med. Rafał Matkowski
Katedra Onkologii, Zakład Chirurgii Onkologicznej
Wydziału Lekarskiego Uniwersytetu Medycznego
im. Piastów Śląskich we Wrocławiu

PROMOTOR POMOCNICZY

dr n. med. Dorota Szcześniak, prof. UMW
Katedra Psychiatrii, Zakład Psychoterapii
i Chorób Psychosomatycznych
Wydziału Lekarskiego Uniwersytetu Medycznego
im. Piastów Śląskich we Wrocławiu

WROCLAW 2022

*Panu prof. dr hab. n. med. Rafałowi Matkowskiemu
i Pani dr n. med. Dorocie Szczęśniak, prof. UMW
składam serdeczne podziękowania za zaangażowanie
i wskazanie właściwej drogi w tworzeniu niniejszej dysertacji.*

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	5
1.1 Laparoscopia	5
1.2 Zdolności wizualno - przestrzenne.....	10
1.3 Koordynacja ręka – oko	12
1.4 Koordynacja dwuręczna.....	14
1.5 Elektrostymulacja mózgu	14
1.6 Neuroplastyczność mózgu	17
1.7 Przechczaszkowa stymulacja niskonapięciowym prądem stałym.....	18
2. PYTANIA BADAWCZE I CELE GŁÓWNE	21
2.1 Pytania badawcze.....	21
2.2 Cele główne	21
3. MATERIAŁ I METODY	22
3.1 Charakterystyka badanej grupy.....	22
3.2 Metoda badawcza.....	23
3.3 Narzędzia badawcze.....	23
3.3.1 Nabyte zdolności psychomotoryczne z zastosowaniem testów wiedeńskich	24
3.3.2 Motor Performance Series – Test MLS (S1)	24
3.3.3 2HAND Test.....	27
3.3.4 Test przestrzenny 3D	29
3.3.5 Specyficzne umiejętności laparoskopowe z zastosowaniem modelu treningowego LASTT .	30
3.3.6 Nawigacja kamerą (CN, ang. <i>camera navigation</i>)	33
3.3.7 Koordynacja ręka-oko (HE, ang. <i>hands-eyes coordination</i>)	34
3.3.8 Koordynacja dwuręczna (Bi, ang. <i>bimanual coordination</i>).....	35
3.4 Interwencja	36
3.5 Analiza statystyczna.....	39
4. WYNIKI	40
4.1 Charakterystyka badanej grupy.....	40
4.2 Umiejętności laparoskopowe.....	49

4.3	Analiza kanoniczna.....	58
5.	DYSKUSJA	62
5.1	tDCS w poprawie funkcji motorycznych	62
5.2	Ocena funkcji psychomotorycznych a trening laparoskopowy.....	65
5.3	Ewolucja treningu laparoskopowego	67
6.	BEZPIECZEŃSTWO I TOLERANCJA.....	71
7.	WNIOSKI.....	72
8.	IMPLIKACJE PRAKTYCZNE	74
9.	PIŚMIENNICTWO	75
10.	STRESZCZENIE.....	84
11.	ABSTRACT.....	87
12.	SKRÓTY.....	90
13.	ZAŁĄCZNIKI.....	92
14.	SPIS RYSUNKÓW	93
15.	SPIS TABEL	95

1. WSTĘP

1.1 Laparoscopia

Laparoscopia zwana również „operacją przez dziurkę od klucza” jest rodzajem chirurgii endoskopowej, która umożliwia wykonywanie procedur medycznych w obrębie jamy brzusznej i miednicy mniejszej poprzez małe nacięcia w powłokach przedniej ściany jamy brzusznej. Historia laparoskopii sięga początków XX wieku, kiedy to niemiecki chirurg Georg Kelling przeprowadził taką interwencję chirurgiczną u psa przy użyciu cystoskopu Nitzego. Pierwsze doniesienia o chirurgii laparoskopowej u ludzi pochodzą ze Sztokholmu z 1910 roku, gdzie Hans Christian Jacobaeus rozpoczął wykonywanie laparoskopii diagnostycznych celem poszukiwania przyczyn niejasnych dolegliwości oraz zaburzeń czynnościowych w obrębie jamy brzusznej [1].

Od wielu lat znane są korzyści płynące z wykonywania zabiegów laparoskopowych w porównaniu z klasyczną chirurgią. Zabiegi małoinwazyjne charakteryzują się mniejszą ilością powikłań okołoperacyjnych, mniejszym zapotrzebowaniem na środki przeciwbólowe, zmniejszoną utratą krwi, dużo lepszym efektem kosmetycznym jak również krótszym czasem hospitalizacji [2][3].

Pomimo tych niezaprzeczalnych faktów, w dalszym ciągu stosunek liczby wykonywanych zabiegów laparoskopowych do operacji otwartych jest w wielu krajach bardzo niekorzystny w porównaniu z realnymi możliwościami. Przykładowo w 2016 roku w Polsce usunięcie macicy stanowiące drugi co do częstości wykonywania zabieg ginekologiczny był wykonany laparoskopowo w poniżej dziesięciu procentach, podczas gdy gdzie w renomowanych ośrodkach chirurgicznych odsetek ten sięga ponad dziewięćdziesięciu procent [4][5].

Przyczyną takiego stanu w latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych oprócz braku prawidłowego systemu uczenia laparoskopii były powszechne braki sprzętowe w szpitalach. Obecnie większość szpitali jest wyposażona w odpowiedni sprzęt do wykonywania laparoskopii, a pomimo tego w dalszym ciągu przeważa odsetek operacji wykonywanych laparoskopowo jest niższy niż w krajach o bardzo wysokich standardach opieki. Sytuacja może być związana z nieprawidłowym systemem szkolenia i dość powszechnym, lecz niepopartym faktami przekonaniem, że laparoscopia jest znacznie trudniejsza technicznie.

Laparoskopia charakteryzuje się inną koncepcją dostępu chirurgicznego, która wymusza opóźnienie posługiwania się narzędziami i technikami manipulacji stanowiącymi modyfikacje lub są całkowicie odmienne od tych stosowanych w chirurgii klasycznej.

Pierwsza różnica dotyczy sposobu w jaki chirurg ogląda pole operacyjne. Wizualizacja jamy brzusznej w laparoskopii jest możliwa dzięki wprowadzeniu przez powłoki jamy brzusznej do jamy otrzewnowej optyki laparoskopu (Rys. 1).

Wyróżniamy cztery techniki wprowadzania pierwszego trokara z optyką laparoskopu:

A. bezpośrednia, B. z użyciem igły Veressa, C. metoda otwarta Hassona oraz D. wejście pod kontrolą wzroku [6].



Rysunek 1. Optyka laparoskopu

A. Metoda bezpośrednia polega na wykonaniu nacięcia skóry i tkanki podskórnej w okolicy pierścienia pępkowego, wprowadzeniu pod kątem 90 stopni ostrego trokara do powięzi. Kolejnym etapem jest uniesienie powłok jamy brzusznej pomiędzy pępkiem a spojeniem łonowym, przy zachowaniu prostopadłego kąta trokara do powięzi i wejściu do jamy otrzewnowej. Uniesienie powłok zmienia kierunek natarcia wprowadzanego trokara w stronę miednicy mniejszej, dzięki temu zmniejszamy ryzyko uszkodzenia dużych naczyń krwionośnych [7][8][9].

B. Metoda ta polega na użyciu specjalnie skonstruowanej igły (Rys. 2) przez węgierskiego internistę Jánoša Veressa w 1932 roku [10] [11]. Urządzenie składa się z dwóch elementów ruchomych względem siebie. Wewnętrzna część jest tępo zakończony mandrynem z dystalnym otworem, przez który wprowadzany jest gaz, oraz zewnętrznej części zbudowanej z zaostromej płaszczki pod kątem 45 stopni. Pod wpływem nacisku operatora i oporu tkanek, do płaszczki wsuwa się wewnętrzna część, a ostry zewnętrzny

płaszcz rozcina tkanki. Po zniesieniu oporu kolejnych warstw jamy brzusznej wewnętrzny mandryn wysuwa się za pomocą mechanizmu sprężynowego przed zewnętrzny płaszcz. Taki ochronny mechanizm zmniejsza ryzyko uszkodzeń w szczególności dużych naczyń krwionośnych oraz innych narządów wewnętrznych po wprowadzeniu igły do jamy otrzewnowej. Zasady wprowadzania igły Veressa są podobne jak do tych stosowanych przy wprowadzaniu trokara metodą bezpośrednią. Zachowujemy kąt 90 stopni do poziomu powięzi, następnie unosimy powłoki brzucha pomiędzy pępkiem a spojeniem łonowym przed wprowadzeniem igły do jamy otrzewnowej. Kolejnym etapem jest wdmuchiwanie dwutlenku węgla przez igłę Veressa do jamy otrzewnowej celem wytworzenia odmy. Ten niepalny gaz stanowi to swego rodzaju poduszkę zwiększającą dystans pomiędzy przednią ścianą jamy brzusznej a ważnymi strukturami anatomicznymi, takimi jak aorta lub żyła główna dolna. Przed rozpoczęciem insuflacji gazu należy potwierdzić prawidłowe położenie końca igły Veressa w jamie otrzewnowej. Wyróżniamy trzy główne metody: a. aspiracyjna, b. wi-
szącej kropli oraz c. odczyt z insuflatora.



Rysunek 2. Igła Veressa

- a. Do metody aspiracyjnej wykorzystujemy pustą strzykawkę podłączoną do igły Veressa. Następnie przeprowadzamy kolejno trzy manewry w następującej sekwencji: (1) Wykonujemy próbę wytworzenia siły ssącej tłokiem strzykawki, czyli aspiracji. Jeżeli igła Veressa jest prawidłowo położona wewnątrzotrzewnowo, próba powinna być niemożliwa i nie powinniśmy aspirować żadnego powietrza, krwi lub innych substancji. (2) Następnie odłączamy igłę i wdmuchujemy 20 ml powietrza - nie powinniśmy czuć żadnego oporu i kolejno (3) ponownie wykonujemy próbę aspiracji - powinno być to niemożliwe. Taki test uznajemy za prawidłowy.

- b. Metoda wiszącej kropli. Umieszczamy w świetle igły kilka kropli soli fizjologicznej, następnie wprowadzamy ją przez kolejne warstwy przedniej ściany jamy brzusznej. Przy prawidłowo umieszczonej wewnątrzotrzewnowo igle negatywne ciśnienie panujące w jamie brzusznej zasysa krople.
- c. Metoda odczytu z insuflatora. Nowoczesne pompy laparoskopowe wyposażone są w czujniki ciśnienia. Po wprowadzaniu igły Veressa i podłączeniu przewodu pompy gazu wykazanie odczytu ujemnego ciśnienia potwierdza prawidłowe położenie igły w jamie otrzewnowej.

Po potwierdzeniu prawidłowego umiejscowienia igły można rozpocząć wdmuchiwanie dwutlenku węgla. Zabiegi laparoskopowe przeprowadza się przy ciśnieniu wewnątrzotrzewnowym w granicach 10 – 12 mmHg, natomiast podczas wprowadzania pierwszego trokara optycznego, celem zwiększenia bezpieczeństwa i większego odsunięcia powłok jamy brzusznej od aorty i żyły głównej dolnej, dopuszczalne jest krótkotrwałe zwiększenie ciśnienia do wartości 15 mmHg.

- C. Metoda otwarta pierwszy raz opisana przez Hassona w 1971 roku, polega na warstwowym przecięciu powłok jamy brzusznej pod kontrolą wzroku i otwarciu otrzewnej, następnie wprowadzeniu tępego trokara. Kolejnym etapem jest wytworzenie odmy otrzewnowej i wprowadzenie optyki laparoskopu [12]. Potencjalne korzyści z zastosowania tej techniki to możliwość pod kontrolą wzroku pokonywania kolejnych warstw przedniej ściany jamy brzusznej i tym samym zmniejszenie ryzyka urazu naczyniowego, pętli jelitowych, zatoru gazowego lub odmy pozaotrzewnowej [13][14].
- D. Wejście pod kontrolą wizualną, polega na wykorzystaniu specjalnego trokara z gwintem tnącym. Po nacięciu skóry operator powoli wkręca trokar zgodnie z ruchem wskazówek zegara co powoduje przecinanie warstwowo struktur przedniej ściany jamy brzusznej. Dzięki umieszczonej w trokarze optyki laparoskopu chirurg jest w stanie rozpoznać struktury anatomiczne i bezpiecznie wprowadzić narzędzie do światła jamy otrzewnowej [15][16].

Po wytworzeniu odmy otrzewnowej uzyskujemy przestrzeń wizualno-robotyczną, w której możemy poruszać się narzędziami laparoskopowymi oraz optyką laparoskopu. Optyka jest połączona poprzez kabel światłowodowy z zewnętrznym źródłem światła, dzięki czemu wewnątrz

jamy brzusznej jest oświetlone. Obraz przekazywany jest do kamery podłączonej do dystalnej części optyki poprzez soczewki laparoskopu i prezentowany jest na ekranie monitora. Pierwszym utrudnieniem w porównaniu z chirurgią otwartą jest fakt, że trójwymiarowe organy prezentowane są na monitorze dwuwymiarowo. Chirurg patrząc na monitor musi na podstawie uzyskanych danych przekształcić obraz dwuwymiarowy w trójwymiarowy. Umiejętność ta jest zmienna osobniczo. Potencjał widzenia przestrzennego będzie warunkował zdolność do prawidłowego zrozumienia relacji pomiędzy narządami [17].

W zależności od rodzaju wykonywanego zabiegu i preferencji chirurga istnieje możliwość używania laparoskopów o różnym kącie widzenia. Najczęściej używanymi optykami są 0 stopni i 30 stopni [18]. Kąt widzenia 30 stopni daje dużo większe możliwości wizualizacji obszarów jamy brzusznej, natomiast posługiwanie się taką optyką wymaga od operatora dodatkowych umiejętności nawigacyjnych [19][20]. Prawidłowa technika operowania laparoskopem kątowym polega na trzymaniu kamery ręką dominującą z zachowaniem kierunków góra - dół osi strzałkowej prostopadle do osi poprzecznej pacjenta. Utrzymując taką pozycję kamery operator trzyma światłowód ręką niedominującą. Przesunięcie światłowodu w kierunku zgodnym ze wskazówkami zegara powoduje prezentację obrazu z kierunku prawo - lewo, natomiast ruch w kierunku odwrotnym do wskazówek zegara pozwala oglądać obrazy od strony lewo - prawo. Aby wykonać zabieg chirurgiczny metodą laparoskopową niezbędne jest wprowadzenie do jamy otrzewnej dodatkowych trokarów roboczych, które umożliwiają włożenie narzędzi laparoskopowych. Rozmieszczenie trokarów roboczych może się różnić w zależności od operowanego obszaru. Posługiwanie się narzędziami laparoskopowymi wymaga od operatora doskonałej umiejętności koordynacji pomiędzy wzrokiem a kończyną efektorową oraz koordynacją pomiędzy dwoma rękoma, czyli koordynacją dwuręczną. Według wielu ekspertów fundamentalnymi umiejętnościami technicznymi do sprawnego wykonywania laparoskopii jest prawidłowa nawigacja kamerą endoskopową, koordynacja pomiędzy ręką a okiem oraz koordynacja dwuręczna [21]. Precyzyjne wykonywanie tych czynności warunkuje bezpieczeństwo podczas wykonywania procedur w obrębie jamy brzusznej. Osiągnięcie odpowiedniego poziomu wyszkolenia wymaga czasu oraz odpowiedniej liczby ćwiczeń. Jednakże niektórzy chirurdzy od samego początku przejawiają specyficzne indywidualne zdolności sprawiające, że osiągają ekspercki poziom wyszkolenia szybciej od innych i potrzebują mniejszej liczby ćwiczeń. Przeprowadzenie proponowanych badań pozwoli uzyskać odpowiedź, jakie obiektywne parametry psychomotoryczne mogą wpływać na trzy podstawowe umiejętności laparoskopowe takie jak nawigacja kamerą, koordynacja ręka-oko oraz koordynacja dwuręczna.

Dodatkowym ważnym efektem naukowo-badawczym będzie ocena wpływu stymulacji niskonapięciowym prądem kory ruchowej, na szybkość uczenia się umiejętności laparoskopowych. Niniejsza rozprawa doktorska może stanowić krok do poznania mechanizmów regulujących proces uczenia się laparoskopii, a przeprowadzone badanie może realnie przyczynić się do poprawy szkolenia oraz skrócić czas potrzebny do opanowania niezbędnych umiejętności laparoskopowych.

1.2 Zdolności wizualno - przestrzenne

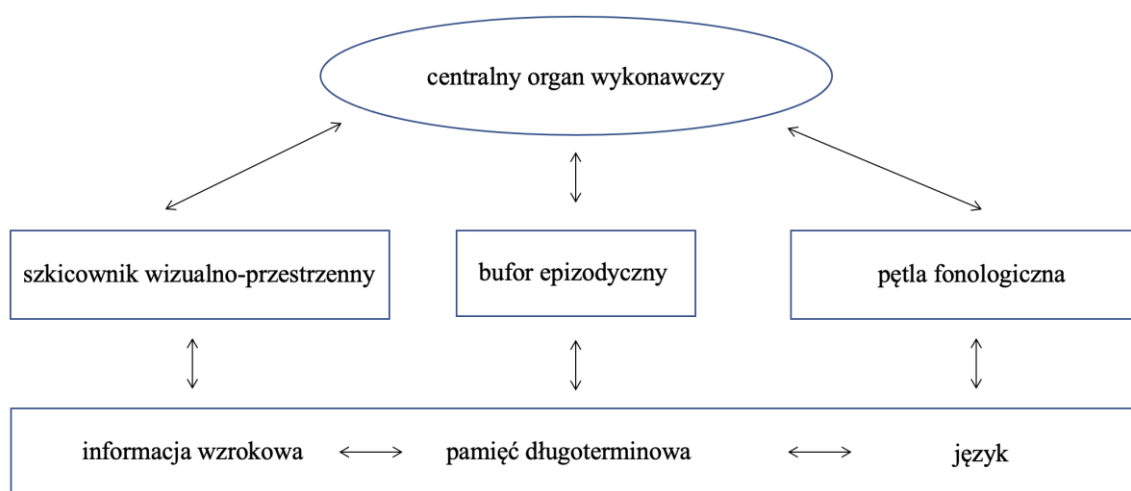
Zdolności wizualno-przestrzenne dotyczą procesów poznawczych niezbędnych do postrzegania danego obiektu w więcej niż jednym wymiarze. Jest to niezbędne do realizacji podstawowych czynności dnia codziennego takich jak poruszanie się, percepcja głębokości, odległości oraz nawigacja w danej przestrzeni [22]. Wyżej wymieniona zdolność jest także bardzo ważna przy wykonywaniu zabiegów laparoskopowych. Obraz narządów wewnętrznych przekazywany przez optykę laparoskopu na ekran monitora prezentowany jest w dwóch wymiarach. Zmieniając położenie narzędzi laparoskopowych w obrębie jamy brzusznej, obraz 2D z monitora musi być przetworzony przez mózg chirurga na trójwymiarową prezentację, odwzorowując rzeczywiste relacje pomiędzy strukturami wewnętrznych narządów [17][23]. Jednym z badaczy i teoretyków w XX wieku zajmujących się zdolnością wizualno-przestrzenną był amerykański psycholog Louis Leon Thurstone. Jego koncepcja łączyła zdolności przestrzenne z poziomem inteligencji [24]. Wyróżnił on czynnik S (ang. *spatial ability*), który rozumiany jest jako składowa ogólnej zdolności poznawczej, potrzebnej do generowania, zatrzymywania, odzyskiwania i przekształcania obrazów wizualnych [25]. Z kolei amerykański profesor David F. Lohman wyróżnił dwie duże grupy czynników wpływających na zdolność przestrzennej percepcji - wizualizację (Vz, ang. *visualization*), oraz orientację przestrzenną (SR-O, ang. *spatial orientation*) [26].

- Wizualizacja (Vz) - umiejętność dostrzegania i manipulowania kształtami i figurami w dwóch i trzech wymiarach.
- Orientacja przestrzenna (SR-O) - umiejętność postrzegania otoczenia z nowej pozycji i z innej perspektywy.

Z kolei w modelach hierarchicznych opisujących inteligencję, zdolność przestrzenna jest umieszczana podrzędnie do czynnika ogólnego „g” (ang. *general ability*), czyli zmiennej opisującej ogólną sprawność umysłową [27]–[29].

Istotnym elementem wpływającym na zdolności przestrzenne jest czas w jakim wykonujemy daną czynność. W przypadku dysponowania dużą ilością czasu słaba zdolność przestrzenna może być rekompensowana logicznym rozumowaniem [30][31].

Zdolność wizualno-przestrzenna jest również nieodzownie związana z pojęciem pamięci roboczej, którą z perspektywy strukturalnej można zdefiniować jako układ mózgu magazynujący i przetwarzający niezbędne informacje do wykonywania złożonych zadań takich jak uczenie się, posługiwanie się językiem oraz rozumowanie [32]. Według modelu Baddley i Hitch (Rys. 3) pamięć robocza składa się z trzech elementów, które pozwalają ludziom zrozumieć oraz reprezentować mentalnie swoje najbliższe otoczenie, zachować informacje o ich bezpośrednim doświadczeniu, wspierać zdobywanie nowej wiedzy oraz rozwiązywać problemy. Nadrzędnym elementem jest centralny organ wykonawczy oraz dwa elementy pamięci tymczasowej: pętla fonologiczna oraz szkicownik wizualno-przestrzenny [33].



Rysunek 3. Model pamięci roboczej według Baddeley i Hitch.

Centralny organ wykonawczy jest zaangażowany w kontrolę i regulację systemu pamięci roboczej. Uważa się, że pełni on różne funkcje wykonawcze, takie jak koordynacja pętli fonologicznej oraz szkicownika wizualno-przestrzennego. Dodatkowo reguluje skupianie i przełączanie uwagi oraz przekazuje informacje dla pamięci długoterminowej.

Pętla fonologiczna odpowiada za przechowywanie i przetwarzanie w pamięci informacji mówionej i pisanej. Szkicownik wzrokowo-przestrzenny natomiast pozwala na zarządzanie i utrzymywanie informacji wizualnych. Wizualna część pamięci roboczej jest odpowiedzialna

za przechowywanie obrazu, dając możliwość rozpoznawania struktur przestrzennych, poruszania się we właściwym kierunku, aby bezpiecznie dotrzeć do celu [34]–[36].

Wizualną pamięć roboczą dzielimy na dwa komponenty: wizualny oraz przestrzenny. Komponenta wizualna odpowiada za pamięć obiektów i ich charakterystykę taką jak powierzchnia oraz kolor, natomiast cecha przestrzenna opisuje pamięć miejsca, gdzie znajduje się punkt orientacyjny [37][38]. Sugeruje się, że funkcjonowanie pamięci roboczej za pośrednictwem centralnego systemu wykonawczego jest silnie uzależnione od płatów czołowych mózgu [39]. Badania na naczelnych innych niż ludzie oraz ludziach wskazują na istotne znaczenie kory przedczołowej w przetwarzaniu pamięci roboczej a tym samym zdolności wizualno-przestrzennej [40]–[44].

1.3 Koordynacja ręka – oko

Koordynacja ręka - oko jest umiejętnością niezbędną do wykonywania wielu czynności naszego życia codziennego, od tych bardzo prostych do skomplikowanych. Potrzebujemy dobrej koordynacji pomiędzy ręką a ośrodkiem wzroku, aby móc przykładowo sięgnąć i podnieść kubek z napojem, zadzwonić domofonem lub złapać jakiś przedmiot [45]. Aby w pełni opisać zależność pomiędzy ręką a okiem podczas wykonywania ruchu ukierunkowanego należy wyjaśnić pojęcie sakkady. Jest to skoordynowany szybki ruch gałek ocznych, przemieszczający obraz danego obiektu z obwodowej części siatkówki do jej centrum, dzięki czemu obraz jest ostrzejszy. W przypadku szybkich zadań, takich jak dotarcie do celu peryferyjnego, sakkada jest zazwyczaj wykonywana w miejscu docelowym przed ręką [46].

W przypadku wolniejszych, bardziej naturalistycznych zadań, takich jak przygotowanie herbaty lub kanapki, ludzie wykonują sakkady do celu wraz z ruchem ręki [47]. Precyzja wykonywania tego ruchu jest uzależniona nie tylko od motoryki wzrokowej, ale również wydajności motorycznej naszych kończyn [48]–[50]. Zjawisko to można zaobserwować porównując osoby w starszym wieku, u których ruch kończyn jest wolniejszy oraz opóźnienia sakkadowe są dłuższe [51].

Naturalnym mechanizmem jest współdziałanie oczu i dłoni, w którym oczy zazwyczaj kierują ruchem dłoni na określony cel [52]. Ponadto oczy dostarczają początkowych informacji o wielkości, kształcie obiektu i ewentualnie najwłaściwszego miejsca do chwytania. Informacje te są następnie wykorzystywane do określania siły, jaką opuszki palców muszą wywierać, aby wykonać zadanie.

W przypadku zadań sekwencyjnych ruch oczu determinuje rozpoczęcie wydarzeń kinematycznych, takich jak zmiana kierunku ruchu lub mijanie postrzeganych punktów orientacyjnych [53]. Jest to związane z charakterem oczu ukierunkowanym na poszukiwanie zadań i ich związkiem z planowaniem ruchu rąk. Pojawiające się błędy między wyjściem sygnału motorycznego a konsekwencjami postrzeganymi przez oczy i inne zmysły są informacjami, które stanowią podstawę dla ruchu korekcyjnego. Oczy mają tendencję do „remiksowania” celu, aby odświeżyć pamięć kształtów lub aktualizować pod kątem zmian jego kształtu lub geometrii w zadaniach rysunkowych, które wiążą się z wprowadzaniem danych wizualnych i ruchu ręki w celu uzyskania kopii tego, co było postrzegane [54].

W zadaniach o wysokiej dokładności, przy oddziaływaniu na większą ilość bodźców wzrokowych, czas potrzebny do zaplanowania i wykonania ruchu zwiększa się liniowo, zgodnie z prawem opisanym przez Fitts i Peterson w 1964 roku [55]. Zadanie dotarcia do określonego celu, w którym rozmiar i odległość celu są niezależnymi zmiennymi, a parametry ruchu jak prędkość i czas są zależnymi czynnikami przekładającymi się na wydajność w osiągnięciu celu opisuje wzór:

$$MT = a + b \log_2(2A/W)$$

a i b są stałe zależne od osoby i zadania

A - amplituda ruchu

W - rozmiar celu

$\log_2(2A/W)$ odpowiada indeksowi trudności = ID

MT – czas ruchu (ang. *movement time*)

Podczas wykonywania ruchu ukierunkowanego wyróżniamy dwie fazy: ruch początkowy i ruch końcowy. Faza początkowa jest szybsza, ale mniej precyzyjna, druga faza ruchu jest wolniejsza, ale bardziej precyzyjna [56]. W miarę wzrostu trudności w tych ruchach celowanych prędkość jest wymieniana na dokładność [57].

1.4 Koordynacja dwuręczna

Wiele umiejętności wykorzystywanych w życiu codziennym polega na tym, że dwie ręce przemieszczają się w oddzielne miejsca, ale docierają do swoich miejsc docelowych prawie jednocześnie lub w ściśle określonej kolejności czasowej. Jedną z podstawowych trudności w koordynowaniu obu rąk jest konieczność nieustannej wizualnej oceny położenia prawej i lewej ręki od celu i korekty ich położenia. Ruchy oburęczne mogą być symetryczne, kiedy obie kończyny wykonują podobny ruch, podczas gdy ruchy asymetryczne opisują ruch dwóch kończyn w odmienny sposób. Ruchy mogą być wykonywane jednocześnie (synchronicznie) lub sekwencyjnie lub schodkowo (asynchronicznie). Kontrolowane ruchy kończyn mogą dzielić wspólny czas w swoich odpowiednich sygnałach zarówno dla symetrycznych, jak i asymetrycznych ruchów obu kończyn [58]–[62]. To sugeruje, że układ nerwowy woli nakładać ograniczenia czasowe na dwie kończyny, aby działały razem jako jedna jednostka [63][59].

Za koordynację dwuręczną nie jest odpowiedzialny jedynie jeden region mózgowia, ale złożony mechanizm koordynujący zachowania dwuręczne stanowiący sieć połączeń zarówno w obrębie danej półkuli mózgu jak i pomiędzy nimi [64][65]. W obrębie tej sieci połączeń nerwowych pierwotna kora ruchowa odgrywa kluczową rolę ze względu na jej udział w wykonywaniu ruchów zorientowanych na cel oraz utrwalaniu nowo poznanych umiejętności motorycznych [66]–[71].

1.5 Elektrostymulacja mózgu

Pierwsze doniesienia o stymulacji prądem datują się na lata 40 naszej ery, kiedy to rzymski lekarz Skryboniusz Largus umieścił żywą rybę torpeda zdolną do wytwarzania prądu na czaszce pacjenta cierpiącego z powodu dolegliwości bólowych głowy. Tuż po wyładowaniu elektrycznym ból głowy ustąpił [72].

Na przestrzeni lat wielu naukowców badało wpływ pobudzenia elektrycznego na pacjenta, jednak dopiero systematyczne metody badawcze brytyjskiego naukowca Johna Walsha z 1773 roku nad rybami torpeda uważane są za początek nauki zwanej elektrofizjologią [73].

Kolejnym przełomem w dziedzinie neuronauki, a jednocześnie prototypem obecnych dyskusji naukowych była debata pomiędzy dwoma włoskimi profesorami Luigim Galvanim i Alessandrem Voltą.

Galvani badając anatomię nóg żaby zaobserwował poruszanie się kończyny podczas dotknięcia jej miedzianym drucikiem i opisał to zjawisko jako „elektryczność zwierzęca”. Był to moment, w którym naukowiec nieświadomie skonstruował ogniwo elektryczne składające się z miedzianego drutu, metalowej siatki, na której leżał preparat, a jako elektrolit niezbędny do wytworzenia prądu posłużyły śródtkankowe płyny nogi żaby [74]. Kolejne badania Galvaniego wykazały, że pobudzenie elektryczne może wywołać skurcz mięśni.

Z drugiej strony Antonio Anastasio Volta opisał powstawanie napięcia elektrycznego pomiędzy płytkami zbudowanymi z odmiennych materiałów: cynkowej i miedzianej w środowisku roztworu kwasu siarkowego. Obaj badacze przez wiele lat spierali się co do natury elektryczności a prądy galwaniczne zyskały na popularności i znalazły zastosowanie w medycynie, głównie w leczeniu zaburzeń psychicznych [72].

Dalszy rozwój badań doprowadził do zwiększania zastosowania stymulacji prądem w medycynie, między innymi do początków leczenia padaczki przy użyciu elektrowstrząsów na początku lat trzydziestych XX wieku [75]. Pochodne tej metody używane są dotychczas z bardzo dobrymi rezultatami, lecz mogą towarzyszyć jej efekty uboczne w postaci zaburzeń pamięci [76][77][78].

Naturalną ewolucją badań nad neurostymulacją było poszukiwanie kompromisu pomiędzy pożądanym efektem klinicznym przy jednoczesnym minimalizowaniu efektów ubocznych. Jednym z ważniejszych eksperymentów naukowych opisujących wpływ niskonapięciowego prądu stałego na możliwość modulacji pobudzenia kory mózgowej u ludzi jest praca Nitsche’go oraz Paulus’a [79]. W niniejszej publikacji autorzy w pierwszej kolejności skoncentrowali się na poszukiwaniu odpowiedniej lokalizacji na czaszce uczestników do przekazania prądu stałego. Jedynym optymalnym położeniem okazał się obszar czołowy kory ruchowej przeciwległej półkuli. Poprzez nasączone solą fizjologiczną elektrody generator przekazywał prąd stały o natężeniu 1mA w głąb mózgowia. Następnie na podstawie pomiarów ruchowych potencjałów wywołanych MEP (ang. *motor evoked-potentials*) dla mięśnia odwodziciela palca małego ADM (ang. *abductor digiti minimi*) autorzy wykazali, że stymulacja anodowa poprzez efekt depolaryzacji neuronów istotnie statystycznie zwiększa pobudliwość kory ruchowej podczas gdy stymulacja katodowa powoduje zmniejszenie tej pobudliwości.

Obecnie w badaniach naukowych wykorzystywane są głównie cztery rodzaje przezczaszkowej stymulacji prądem, różniące się między innymi typem dostarczanego prądu, kształtem fali elektrycznej oraz odmienną pobudliwością kory ruchowej. Wyróżniamy przezczaszkową stymulację niskonapięciowym prądem stałym - tDCS (ang. *transcranial direct current stimulation*), przezczaszkową pulsacyjną stymulację niskonapięciowym prądem - tPCS (ang. *transcranial*

pulsed current stimulation), przezczaszkową stymulację niskonapięciowym prądem zmiennym tACS (ang. *transcranial alternating current stimulation*) oraz przezczaszkową stymulację szumów tła - tRNS (ang. *transcranial random noise stimulation*). Różnice pomiędzy poszczególnymi typami stymulacji przed stawiono w tabeli (Tabela 1.)

Tabela 1. Podsumowanie nieinwazyjnych technik stymulacji mózgu: tDCS, tACS, tPCS i tRNS. (Ka-dosh, Roi Cohen. Stymulowany mózg (str. 84). Elsevier Science. Wersja Kindle)

	tDCS	tACS	tPCS	tRNS
Wielkość elektrod	dwie elektrody od 20-35 cm ²	16cm ²	16cm ²	16cm ²
Typ dostarczanego prądu	Mały bezpośredni prąd stały o natężeniu od 0,5- 2 mA	Dwukierunkowy dwufazowy prąd z sinusoidalnym kształtem fali. Intensywność prądu 0,25-1 mA, częstotliwość 1,10,15,30 oraz 45 Hz, napięcie 5-15 mV	Jednokierunkowy, jednofazowy prąd pulsacyjny z typową prostokątnym kształtem fali, Intensywność: 0,6-1mA, częstotliwość 1 Hz-167 Hz. Może być dwukierunkowy i dwufazowy.	Prąd przemienny z losową amplitudą i częstotliwością pomiędzy 0,1-60 Hz; intensywnością pomiędzy -500 oraz +500 uA z częstotliwością próby 1250/s dla prądu 1mA
Typowy czas aplikacji	20min	2-5 min	20min	10min
Klasyfikacja NEUROMODEC	W tej technice tES prąd jest podtrzymywany przez czas dłuższy od minuty przy amplitudzie większej niż 0.1 mA, poziom prądu nie zmienia się znacząco powyżej 5 %	W tej technice tES dwufazowy sinusoidalny prąd jest podtrzymywany przez czas dłuższy od minuty przy amplitudzie większej niż 0.1 mA mierzonego pomiędzy pikami prądowymi.	W tej technice tES prąd płynie pulsacyjnie w kształcie fali prostokątnej jednofazowo lub dwufazowo i jest podtrzymywany przez czas dłuższy od minuty przy amplitudzie większej niż 0.1 mA, mierzonego pomiędzy pikami prądowymi.	W tej technice tES prąd jest podtrzymywany przez czas dłuższy od minuty z losowymi i stałymi zmianami o amplitudzie większej niż 0.1 mA RMS
Objawy uboczne	mrowienie, swędzenie, zaczerwienienie	mrowienie, swędzenie, zaczerwienienie	mrowienie, swędzenie, zaczerwienienie	mrowienie, swędzenie,
EEG	Zwiększenie aktywności wolnej oscylacji (3Hz)	Zwiększenie aktywności niskiej alpha (8-12Hz) oraz wysokiej theta (3-8Hz)	Zwiększenie aktywności wolnej oscylacji (<1Hz) podczas stymulacji 0.75Hz	Bez zmian
Pobudliwość kory mózgowej	Zwiększenie pobudliwości przy stymulacji anodowej, zmniejszenie pobudliwości przy stymulacji katodowej	Nie wykazano	Nie poznane	Widoczne zmiany w koroworodzeniowej pobudliwości. Modulacja pobudliwości korowej ze zmniejszeniem regionalnego przepływu krwi, bez wpływu na metabolizm kory mózgowej oraz konsumpcję tlenu.

Neurotransmitery	Zwiększenie czynnika wzrostu nerwów pochodzenia mózgowego BDNF (ang. <i>brain-derived neurotrophic factor</i>) oraz postsynaptyczny GABA. Zmniejszenie interakcji glutaminianu z receptorem	Nie poznane	Nie poznane	Możliwa aktywacja synaps z pośrednictwem glutaminianowym
------------------	--	-------------	-------------	--

1.6 Neuroplastyczność mózgu

Dotychczas jedną z najbardziej niewyjaśnionych koncepcji w neurobiologii jest pojęcie neuroplastyczności. Jako pierwszy określenie plastyczności mózgu sformułował 1890 roku amerykański filozof i psycholog William James w swojej książce „*The Principles of Psychology*” opisując strukturę mózgowia jako mającą nadzwyczajne właściwości plastyczne [80]. Kolejnym z autorów definiującym „plastyczność neuronalną” był polski neurofizjolog i neuropsycholog Jerzy Konorski [81]. Na przestrzeni lat definicja neuroplastyczności stała się rodzajem zbiorowego terminu, którym opisujemy zmiany strukturalne i funkcjonalne mózgowia zachodzące podczas całego naszego życia podczas interakcji organizmu ze środowiskiem. Ten dynamiczny proces, pozwala na adaptację do różnych doświadczeń i tym samym uczenia się. Dobrym przykładem zjawiska neuroplastyczności są procesy zachodzące podczas rekonwalescencji po urazach mózgu, kiedy to zabiegi rehabilitacyjne wpływają pozytywnie na odbudowę połączeń między neuronami i „przeprogramowanie” mózgu na nowo [82][83]. W mózgowiu zachodzą nieustające procesy usuwania i odtwarzania połączeń synaptycznych, a zachowanie odpowiedniego balansu pomiędzy tymi procesami jest istotnie zależne od aktywności neuronów. W większości obszarów mózgu udało się udokumentować różne formy zmiany plastyczności zależnej od jej aktywności podczas zbierania nowych doświadczeń stanowiąc podstawę teorii uczenia się i zapamiętywania [84]. Odpowiednie funkcje neuronu czyli plastyczność synaptyczna jest zależna między innymi od prawidłowej regulacji białek, kontrolowanych poprzez przyłączanie grup fosforowych czyli fosforylacji lub ich odłączania czyli defosforylacji [85]. Zachodzące w mózgowiu reakcje konwersji białek nie byłyby możliwe, gdyby nie specyficzne enzymy takie jak kinazy i fosfatazy białkowe oraz proteazy. Działanie tych samych enzymów może się odbywać z wieloma różnymi substratami, dlatego tak trudne

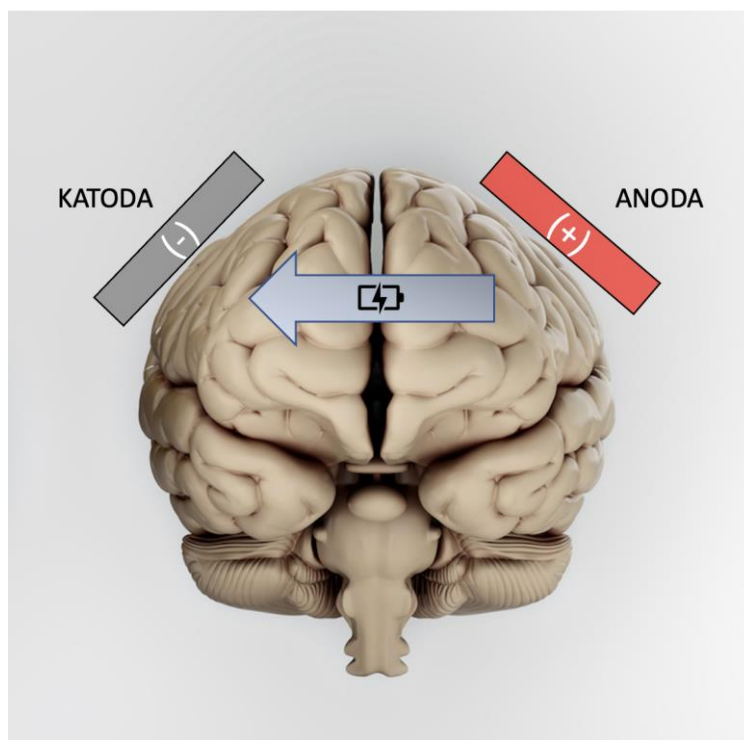
jest jednoznaczne zdefiniowanie wszystkich reakcji zachodzących w obszarze mózgowia, a tym samym pełne wyjaśnienie zjawiska neuroplastyczności [86][87].

W latach osiemdziesiątych XX wieku dwóch norweskich badaczy przeprowadziło doświadczenie mające na celu analizę struktury obszaru hipokampa królików wykazując, że aktywacja synaps pobudzeniowych z wysoką częstotliwością skutkuje wzrostem odpowiedzi postsynaptycznych trwającej kilka godzin, a nawet dni [88]. Powstałe w ten sposób długotrwałe wzmocnienie postsynaptyczne LTP (ang. *long-term potentiation*) są uważane za podstawowy model śladu pamięciowego i kluczowy czynnik w konsolidacji pamięci, czyli zdolności mózgu do przekształcania pamięci krótkotrwałej w pamięć długotrwałą [89][90].

Nieodzownym zagadnieniem powiązanim z neuroplastycznością jest transmisja synaptyczna. Jest ona wypadkową transmisji pobudzającej, za pośrednictwem receptora N-metylo-D-asparaginowego (NMDA), w której głównym neurotransmiterem jest glutaminian oraz hamującej poprzez receptor GABA-ergiczny, gdzie głównym neurotransmiterem jest kwas γ -aminomasłowy (GABA). W momencie przewagi pobudzenia nad hamowaniem, generowane są w sieci neuronalnej sygnały elektryczne i elektrochemiczne, które są nośnikami informacji między komórkami. Pomimo mniejszej liczebności to właśnie synapsy GABA-ergiczne pełnią kluczową rolę w regulowaniu aktywności sieci neuronalnych.

1.7 Przewodząca stymulacja niskonapięciowym prądem stałym

Przewodząca stymulacja tDCS jest nieinwazyjną techniką modulacji kory mózgu za pomocą niskonapięciowego stałego prądu elektrycznego. Mechanizm tDCS polega na doprowadzeniu prądu o natężeniu 0,5–2 mA bezpośrednio do głowy, który przenika częściowo czaszkę i dociera do mózgu [91]. Elektrody przymocowane są do nasączonych solą fizjologiczną gąbek i umieszczone zazwyczaj zgodnie z systemem elektroencefalografii (EEG, ang. *electroencephalography*). Kierunek przepływu prądu odbywa się od anody (+) do katody (-) [92][93]. Wytworzone pole elektryczne modyfikując transbłonowy potencjał neuronowy wpływa na poziom pobudliwości i reaktywności połączeń synaptycznych oraz moduluje szybkość wyzwalania poszczególnych neuronów [94]–[96]. (Rys. 4).



Rysunek 4. Schemat przepływu prądu w tDCS.

W badaniach stosowane są dwa systemy montażu elektrod: dwugłowy, kiedy obie elektrody umieszczone są na czaszce oraz poza-głowy, kiedy jedna z elektrod umieszczona jest na czaszce a druga na ramieniu lub przedramieniu [97]. Dzięki wielu eksperymentom medycznym i analizie możliwych parametrów stymulacji wykazano, że rezultaty są ściśle powiązane z gęstością prądu, długością stymulacji oraz zastosowaną lokalizacją [98]. Przykładowo przy zastosowaniu prądów o natężeniu do 1 mA i czasie trwania krótszym niż 20 minut stymulacja anodowa kory ruchowej zwiększa jej potencjał wywołany ruchowy MEP jednak gdy polaryzacja zostanie zmieniona na stymulację katodową skutkuje to odwrotnym efektem [79]. Pomimo, że dostarczony prąd za pomocą powierzchniowej elektrody powoduje częściowe rozproszenie prądu w skórze oraz płynie mózgowo-rdzeniowym to część prądu przenika do mózgu wytwarzając szczytowe pole elektryczne o wartości około 0,3 V/m na każdy przyłożony 1 mA. Utrzymane w ten sposób pole elektryczne wytwarzane podczas tDCS modyfikuje transbłonowy potencjał neuronalny i może wpływać na poziom pobudliwości i reakcji synaptycznej [95]. Szeroko rozumiane zmiany neuroplastyczności mogą być związane również z modulacją neuronalnych kanałów jonowych, w szczególności bramkowanego napięciem kanału wapniowego typu L (L-VGCC, ang. *L-type calcium channel, voltage dependent*) i NMDA [99]. tDCS moduluje również neurotransmisję glutaminergiczną, jednak dokładny mechanizm, za pomocą którego tDCS moduluje architekturę neuronową mózgu, od skali mikro do makro, nie został

jeszcze poznany. Efekty działania tDCS na mózgowie udało się zobrazować używając funkcjonalnego rezonansu magnetycznego (rs-fMRI, ang. *resting state functional magnetic resonance*) oraz protonowej spektroskopii rezonansu magnetycznego (HMRS, ang. *1H magnetic resonance spectroscopy*) wykonanego bezpośrednio przed i po podaniu anodowego tDCS przez prawą korę ciemieniową. W rezultacie zidentyfikowano sieci neuronalne ze znacznym wzrostem nowych połączeń funkcjonalnych [100][101]. Stymulacja anodowa nad niedominującą korą ruchową wykazuje pozytywny wpływ na poprawę funkcji motorycznych zarówno u pacjentów rehabilitujących się po udarach mózgu jak i innych chorób wpływających na funkcje motoryczne takich jak choroba Parkinsona czy zanik wieloukładowy [102][103]. Zachęcające wyniki badań nad pacjentami z upośledzoną funkcją motoryczną zaowocowały rozwojem badań nad wpływem stymulacji tDCS na zdrowe osoby w ramach nabywania nowych zdolności motorycznych. Przykładowo badania Rosen i wsp. wykazały, że stymulacja anodowa tDCS pozytywnie wpływa na zwiększenie umiejętności muzycznych wśród początkujących pianistów jazzowych [104]. Istotnym poszerzeniem wiedzy na temat stymulacji tDCS były doświadczenia Vines i wsp., którzy wykazali, że stymulacja katodowa tDCS nad dominującą korą ruchową może poprawić funkcję kończyny górnej niedominującej, najprawdopodobniej poprzez wpływ na hamowanie w połączeniach pomiędzy półkulami [105]. Kontynuując badania wyżej wymienieni autorzy wykazali, że jednoczesna stymulacja katodową tDCS nad dominującą korą ruchową i anodowa tDCS nad niedominującą korą ruchową wykazuje efekt addytywny i poprawia sprawność ręki niedominującej silniej niż sama stymulacja anodowa [106]. Taki rodzaj podwójnej stymulacji anodowo-katodowej znalazł szerokie zastosowanie w świecie muzyków, sportowców i innych profesjonalistów, którzy chcieli osiągać lepsze wyniki w swoich dyscyplinach zależnych od poziomu funkcji motorycznych [107][108][109].

2. PYTANIA BADAWCZE I CELE GŁÓWNE

2.1 Pytania badawcze:

1. Czy przezczaszkowa stymulacja niskonapięciowym prądem jest istotnym czynnikiem wpływającym na specyficzne umiejętności laparoskopowe?
2. Czy poziom nabytych zdolności psychomotorycznych ma związek ze specyficznymi umiejętnościami laparoskopowymi?

2.2 Cele główne:

Cele niniejszej pracy doktorskiej:

1. Ocena wpływu dodatkowej stymulacja tDCS w ramach treningu laparoskopowego na efekt uczenia się specyficznych umiejętności laparoskopowych takich jak: nawigacja kamerą, koordynacja ręka-oko oraz koordynacja dwuręczna.
2. Analiza zależności pomiędzy poziomem posiadanych umiejętności psychomotorycznych u osób bez doświadczenia laparoskopowego a wynikami uzyskiwanymi w czasie (efekt uczenia się) wykonywania specyficznych ćwiczeń laparoskopowych.

3. MATERIAŁ I METODY

3.1 Charakterystyka badanej grupy

Materiałem badawczym była grupa trzydziestu trzech studentów, z których 60% stanowiły kobiety (n20) oraz 40% stanowili mężczyźni (n13) Uniwersytetu Medycznego im. Piastów Śląskich we Wrocławiu. Analizowana grupa badawcza została wyodrębniona na podstawie następującego kryterium włączenia do badania:

- 1) brak jakiegokolwiek doświadczenia laparoskopowego zarówno na modelach treningowych jak również w warunkach sali operacyjnej.

Kryteriami wyłączenia z badania były:

- 1) przebyte choroby psychiatryczne i neurologiczne,
- 2) przebyte urazy głowy,
- 3) stan po usunięciu guzów mózgowia,
- 4) wszczepione implanty kości czaszki,
- 5) zażywanie leków lub substancji neuroaktywnych,
- 6) nabyte lub wrodzone dysfunkcje motoryczne kończyn górnych mogących wpływać na ograniczenia w ich ruchomości.

Pełne dane do badania zebrano w latach 2019 i 2020 w Dolnośląskim Centrum Onkologii, Pulmunologii i Hematologii przy placu Ludwika Hirszfelda 12 we Wrocławiu.

Dzięki zaangażowaniu prof. Rafała Matkowskiego Kierownika Katedry Onkologii i Zakładu Chirurgii Onkologicznej Uniwersytetu Medycznego im. Piastów Śląskich we Wrocławiu w specjalnie wydzielonym do tego celu pomieszczeniu zostały przeprowadzone testy psychomotoryczne oraz ćwiczenia laparoskopowe zgodnie z poniższą procedurą zabiegową.

Wszyscy uczestnicy podpisali świadomą zgodę na udział w badaniu. Badanie uzyskało zgodę Komisji Bioetycznej o numerze KB-423/2019 przy Uniwersytecie Medycznym im. Piastów Śląskich we Wrocławiu.

3.2 Metoda badawcza

Niniejsza praca jest randomizowanym badaniem z losowym przydziałem do grupy eksperymentalnej oraz grupy kontrolnej (RCT, ang. *randomized controlled trial*). Badaniem objęto 33 studentów medycyny bez doświadczenia laparoskopowego. Do grupy A (eksperymentalna, stymulowana niskonapięciowym prądem stałym za pomocą Halo Neurostimulation System) włączono losowo 16 studentów, a do grupy B (kontrolnej, bez stymulacji) 17 studentów. Randomizacja miała na celu wyeliminowania wpływu znanych i nieznanymi czynników zakłócających poprzez ich równomierne rozłożenie (podobną częstość występowania) w porównywalnych grupach. Sposób przeprowadzenia randomizacji polegał na naprzemiennym przydzielaniu do grupy A i B kolejno zgłaszających się studentów do badania. Przydziału dokonywał główny badacz - lekarz Piotr Lepka. Celem zaślepienia metody badawczej uczestnicy badania oraz osoba odpowiedzialna za zapisywanie wyników studentka Zofia Sikora nie wiedzieli, którzy studenci byli przydzieleni do procedury leczniczej. Urządzenie do stymulacji niskonapięciowym prądem było przełączane w tryb aktywny zdalnie przez lekarza Piotra Lepkę.

3.3 Narzędzia badawcze

W niniejszej pracy doktorskiej do oceny zdolności psychomotorycznych dla laparoskopii zastosowano dwie metody pomiarowe. Mając na uwadze zdefiniowane przez Molinas i wsp. niezbędne umiejętności laparoskopowe jak: (1) nawigacja kamerą, (2) koordynacja ręka-oko oraz (3) koordynacja dwuręczna [21] w pierwszym etapie badania oceniono wyjściowe zdolności psychomotoryczne przy użyciu baterii standaryzowanych cyfrowych testów Vienna Test System (VTS). W badaniu wykorzystano trzy testy: Motor Performance Series - Test MLS (S1), 2HAND Test oraz 3D Test obejmujące parametry jak najbardziej korespondujące z wyżej wymienionymi umiejętnościami laparoskopowymi. Drugim elementem był pomiar poziomu kompetencji w zakresie podstawowych laparoskopowych umiejętności psychomotorycznych na modelu LASTT (ang. *laparoscopic skills testing and training*) obejmującym trzy ćwiczenia: nawigacja kamerą, koordynacja ręka-oko i koordynacja dwuręczna, który następnie umożliwił ocenę procesu uczenia się w pierwszym, trzecim, piątym i siódmym dniu badania w porównaniu między grupą kontrolną oraz eksperymentalną.

3.3.1 Nabyte zdolności psychomotoryczne z zastosowaniem testów wiedeńskich

3.3.2 Motor Performance Series – Test MLS (S1)

MLS to ustandaryzowana bateria testowa do oceny funkcji psychomotorycznych spełniająca kryteria jakości: wiarygodność ponownego testu wynosi $r = 0,92$. Testy zostały opracowane w oparciu o jedenaście czynników wpływających na małą motorykę według Fleishmana [110][111].

Analiza obejmuje czynniki takie jak:

- szybkość nadgarstka i palca,
- zręczność palców,
- tempo ruchu ręki,
- celowanie,
- stabilność ręka-ręka,
- czas reakcji,
- koordynacja kończyn,
- sprawność manualna,
- szybkość psychomotoryczna,
- reakcja dyskryminacyjna
- precyzja sterowania

Do wykonania baterii testów MLS niezbędny jest panel roboczy o wymiarach 300 x 300 x 15 mm. Platforma zawiera otwory, rowki, powierzchnię dotykową oraz dwa rysiki połączone przewodem z panelem roboczym. Uzyskane dane przekazywane są do dedykowanego programu komputerowego (Rys. 5)

Test S1 składa się z następujących podtestów.

Stabilność

Ten podtest sprawdza zdolność precyzyjnego ustawiania rąk i dłoni w danej pozycji. Rysik umieszczony pionowo do przypisanego otworu 5,8 mm w panelu roboczym należy utrzymać przez 32 sekundy starając się nie dotykać płyty panelu ani bocznych ścian otworu. Test wykonywany jest dla ręki dominującej i niedominującej.

Szczegółowa ocena parametrów:

- całkowita liczba błędów (każdy kontakt z krawędzią lub dnem otworu jest liczony jako błąd),
- czas trwania błędu stabilności (w sekundach),
- całkowity czas trwania błędów

Śledzenie liniowe

Test polega na przeprowadzeniu rysika przez wyznaczoną ścieżkę na panelu roboczym, starając się nie dotykać bocznych ścian i podstawy płyty. Przy wykonywaniu ćwiczenia u osób leworęcznych panel roboczy jest obracany o 180 stopni dzięki temu zadanie jest identyczne dla praworęcznych i leworęcznych.

Szczegółowa ocena parametrów:

- całkowita liczba błędów (każdy kontakt między rysikiem a krawędzią rowka lub płytą podstawy jest liczony jako błąd.)
- czas trwania błędu śledzenia linii (w sekundach)
- całkowity czas trwania błędów
- całkowity czas śledzenia linii (w sekundach)
- czas pomiędzy dotknięciem punktu startu i mety.

Celowanie

Ten podtest mierzy ruchy ukierunkowane, które są wymagane wszędzie tam, gdzie koordynacja wzrokowo-ruchowa dotyczy małych obszarów a osiągnięcie celu odgrywa ważną rolę. Test polega na jak najszybszym dotknięciu rysikiem dwudziestu mosiężnych kółek o średnicy 5 mm ułożonych w rzędzie w odległości 4 mm od siebie.

Szczegółowa ocena parametrów:

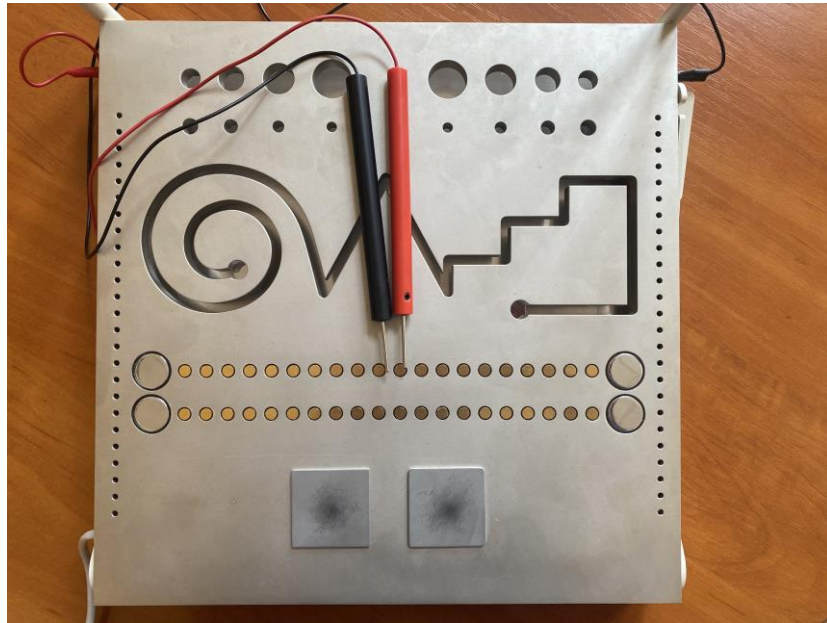
- błędy w celowaniu
- całkowita liczba błędów (każdy kontakt między rysikiem a panelem roboczym jest klasyfikowany jako błąd)
- czas trwania błędu celowania (w sekundach)
- całkowita liczba trafień (każde uderzenie mosiężnego koła jest liczone jako trafienie. Jeśli każde koło zostanie dotknięte raz, maksymalna liczba trafień wynosi 20.)
- pomiar całkowitego czasu trwania (w sekundach)
- całkowity czas od dotknięcia punktu początkowego do momentu dotknięcia punktu docelowego.

Stukanie

Ten podtest ma na celu ocenę szybkości nadgarstka, opisaną przez Fleishmana jako „szybkość nadgarstka i palca” Test polega na jak najszybszym uderzeniu metalowym rysikiem w metalową płytkę przez 32 sekundy.

Szczegółowa ocena parametrów:

- liczba trafień
- całkowita liczba trafień w obu połowach testu - każde stuknięcie rysika w kwadratową płytkę jest traktowane jako trafienie.



Rysunek 5. Panel roboczy do testów MLS.

3.3.3 2HAND Test

Opisane przez Fittsa zależności wskazują, że ruchy te są skierowane w pewnym zorientowanym celu w przestrzeni i czasie oraz dostosowane do odpowiedniej sytuacji [112]. To właśnie odróżnia zachowanie skoordynowane od nieskoordynowanych. Wykonywanie skoordynowanych ruchów nie jest jednostronną zależnością pomiędzy ośrodkiem sensorycznym a ośrodkiem ruchowymi w korze mózgowej. Interakcje te przebiegają w postaci złożonych procesów oraz pętli sprzężenia zwrotnego. 2HAND jest testem badającym koordynację oburęczną w kontekście drobnych precyzyjnych ruchów analizując ich szybkość i dokładność. Do wykonania testu niezbędny jest panel roboczy z dwoma drążkami sterującymi (Rys. 6). Całość podłączona jest do komputera z monitorem. Zadanie polega na tym, aby czerwona kropka poruszała się po danym torze przy użyciu dwóch drążków sterujących (Rys. 7). Tor składa się z trzech odcinków badając różne wymagania w zakresie koordynacji lewej i prawej ręki. Punkt jest przenoszony od prawej do lewej. Uczestnik wykonuje 10 przebiegów. Ścieżka ma 12 pikseli szerokości, zakres tolerancji wynosi 16 pikseli. Ruchy poziome są kontrolowane przez lewy drążek a pionowe przez prawy. W przypadku błędu pojawia się akustyczny sygnał zwrotny.

Oceniane są następujące parametry:

- całkowity średni czas przejścia,
- całkowity średni czas trwania błędu,
- całkowity procentowy czas trwania błędu (obliczany jako stosunek całkowitego czasu trwania błędu do całkowitego czasu przejścia),
- trudność koordynacji.



Rysunek 6. Panel roboczy testu 2HAND.



Rysunek 7. Tor testu 2HAND.

3.3.4 Test przestrzenny 3D

Podstawowym czynnikiem mierzonym w teście 3D jest zdolność wizualno-przestrzenna. Do wykonania testu niezbędny jest panel z przyciskami podłączony do komputera z monitorem.

Test 3D składa się z trzydziestu zadań, na których są ilustracje przedstawiające kilka klocków konstrukcyjnych o tym samym kształcie i rozmiarze, które są umieszczone w taki sposób, aby tworzyć odmienne figury. Osoba wykonująca test jest poproszona o wyobrażenie sobie, jak wyglądałaby konstrukcja z klocków, gdy patrzy się na nią pod kątem wskazanym strzałką. Z czterech alternatywnych odpowiedzi należy wybrać jedno poprawne zdjęcie (Rys.8)

Oceniane parametry:

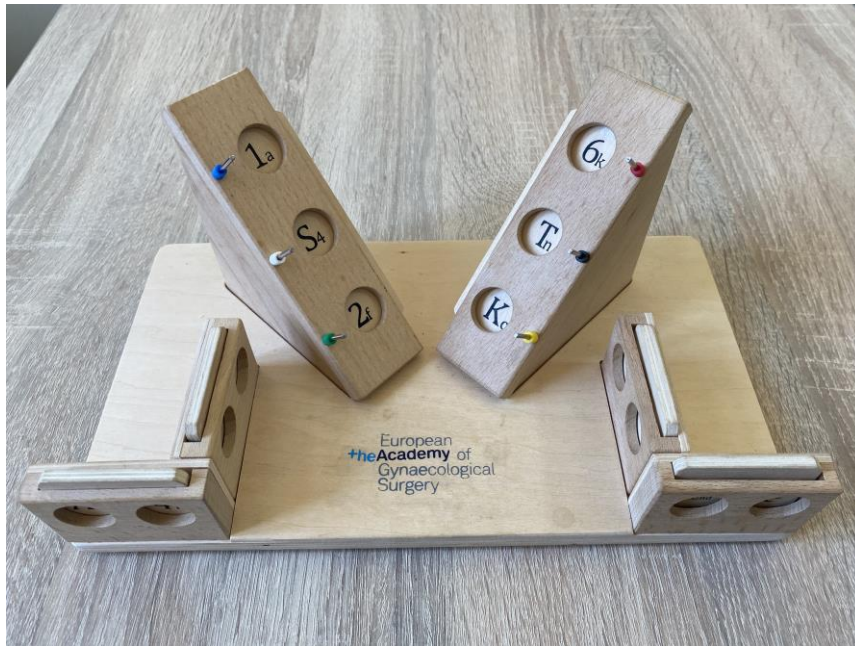
- Liczba poprawnych odpowiedzi - zmienna wskazuje, ile pozycji zostało poprawnie przetworzonych przez respondenta. Każda poprawna odpowiedź daje jeden punkt.
- Liczba błędnych odpowiedzi - zmienna wskazuje, ile pozycji zostało nieprawidłowo przetworzonych przez respondenta.)
- Czas pracy - ta zmienna podaje czas spędzony na testowaniu w minutach i sekundach.



Rysunek 8. Prezentacja testu 3D na monitorze.

3.3.5 Specyficzne umiejętności laparoskopowe z zastosowaniem modelu treningowego LASTT

LASTT jest laparoskopowym modelem treningowym powstałym przy współpracy z Europejskim Towarzystwem Ginekologii Endoskopowej ESGE (ang. *European Society for Gynaecological Endoscopy*) [113]. Model LASTT (Rys 9.), umieszczony w boksie trenażera laparoskopowego odwzorowuje przestrzenny rozkład i orientację różnych płaszczyzn i kątów występujących w żeńskiej miednicy. Składa się z czternastu okrągłych pól, w których umieszcza się elementy z symbolami literowymi i numerycznymi, które to uczestnicy identyfikują w trakcie wykonywania ćwiczeń. Ponadto model wyposażony jest w sześć igieł do umieszczenia plastikowych tulei. Do wykonania ćwiczeń niezbędny jest zestaw składający się z: trenażera Szabo (Rys.10), zintegrowanego źródła światła i kamery, światłowodu (Rys. 11.), optyki laparoskopu (Rys.1) oraz chwytnych kleszczyków laparoskopowych (Rys. 12). Wyniki z poszczególnych ćwiczeń odnotowywane są w dedykowanej karcie systemu oceny (Załącznik nr 1.)



Rysunek 9. Model laparoskopowy LASTT.



Rysunek 10. Trener laparoskopowy Szabo.



Rysunek 11. Zintegrowany monitor, źródło światła i kamera laparoskopowa.



Rysunek 12. Kleszcze laparoskopowe.

3.3.6 Nawigacja kamerą (CN, ang. *camera navigation*)

Celem ćwiczenia jest poruszanie kamerą z optyką 30 stopni w celu wizualizacji wszystkich ważnych z punktu widzenia chirurgii endoskopowej obszarów miednicy. Osoba ćwicząca wyszukuje za pomocą ruchów optyki laparoskopu pierwszego symbolu „1a”. Kolejnym etapem jest takie uwidocznienie małej postaci „a”, tak aby była w pełni widoczna i czytelna dla osoby nadzorującej ćwiczenie (Rys.13). Następnie należy zidentyfikować wielką literę „A”. Sekwencja ta jest powtarzana do momentu umieszczenia w celowniku ostatniej sekwencji ze znakiem „end”. Limit czasu wynosi 120 sekund. W sytuacji, gdy uczestnik nie odnajdzie prawidłowo wszystkich elementów, nadzorujący wpisuje ostatni wielki obiekt w karcie wyniku. Ćwiczenie wykonywane jest trzykrotnie.



Rysunek 13. Test nawigacja kamerą (R. Campo, C. Reising, Y. Van Belle, J. Nassif, P. O'Donovan, and C. R. Molinas, "A valid model for testing and training laparoscopic psychomotor skills," *Gynecol. Surg.*, 2010)

3.3.7 Koordynacja ręka-oko (HE, ang. *hands-eyes coordination*)

Celem ćwiczenia jest ocena umiejętności poruszania się optyką laparoskopu 0 stopni ręką niedominującą oraz posługiwania kleszczami laparoskopowymi ręką dominującą. Do dyspozycji mamy dwanaście pierścieni po dwa z każdego koloru. Zadaniem osoby wykonującej ćwiczenie jest umieszczenie sześciu pierścieni o różnych kolorach, po jednej sztuce na każdym gwoździu zgodnie z odpowiadającymi kolorami (Rys. 14) W przypadku upuszczenia pierścienia, można użyć drugiego lub ponownie go chwycić, o ile znajduje się on w granicach trenażera. Limit czasu 120 sek. W sytuacji, gdy uczestnik nie zmieści się w limicie czasu nadzorujący wpisuje ilość prawidłowo umieszczonych pierścieni w karcie wyniku. Ćwiczenie wykonywane jest trzykrotnie.



Rysunek 14. Test koordynacja ręka - oko (R. Campo, C. Reising, Y. Van Belle, J. Nassif, P. O'Donovan, and C. R. Molinas, "A valid model for testing and training laparoscopic psychomotor skills," *Gynecol. Surg.*, 2010)

3.3.8 Koordynacja dwuręczna (Bi, ang. *bimanual coordination*)

Celem ćwiczenia jest ocena umiejętności posługiwania się dwoma kleszczykami laparoskopowymi jednocześnie ręką dominującą i niedominującą. Do dyspozycji mamy dwanaście szpilek po dwie z danego koloru. Zadaniem osoby wykonującej ćwiczenie jest umieszczenie po jednej kolorowej szpilce w odpowiadającym kolorem okręgu. W pierwszej kolejności należy chwycić plastikową część szpilki niedominującą ręką i uniesienie jej do góry. Kolejnym etapem jest podanie szpilki do ręki dominującej i uchwycenie jej w metalowej części. Ćwiczący umieszcza szpilkę w odpowiednim kolorowym kółku i powtarza tę sekwencję do wszystkich kolorów (Rys. 15). W przypadku upuszczenia szpilki dopuszczalne jest użycie drugiej. Limit czasu 120 sekund. W sytuacji, gdy uczestnik nie zmieści się w limicie czasu, nadzorujący wpisuje ilość prawidłowo umieszczonych szpilek w karcie wyniku. Ćwiczenie wykonywane jest trzykrotnie.



Rysunek 15. Test koordynacja dwuręczna (R. Campo, C. Reising, Y. Van Belle, J. Nassif, P. O'Donovan, and C. R. Molinas, "A valid model for testing and training laparoscopic psychomotor skills," *Gynecol. Surg.*, 2010)

3.4 Interwencja

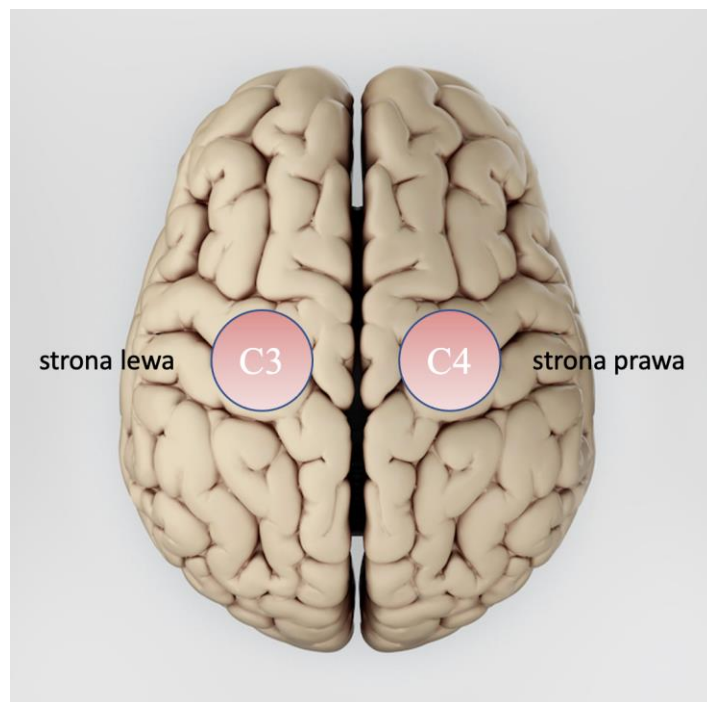
Na początku badania wszyscy uczestnicy otrzymali ustną instrukcję o kolejnych etapach badania. Następnie zostali poproszeni o zajęcie miejsca przy biurku na wprost monitora komputera oraz paneli roboczych VTS. Przed rozpoczęciem wykonywania testów osoba nadzorująca wytłumaczyła techniczne aspekty posługiwania się panelami VTS. Każdy z uczestników wykonał kolejno test MLS wersję S1, 2HAND oraz 3D podążając za poleceniami na ekranie monitora, co pozwoliło na ocenę wyjściowych umiejętności psychomotorycznych osób badanych.

W drugim etapie badania uczestnicy otrzymali słowną instrukcję oraz jednorazową demonstrację ćwiczeń: nawigacja kamerą, koordynacja ręka-oko oraz koordynacja dwuręczna na modelu LASTT.

Kolejno uczestnicy zostali losowo przypisani do dwóch grup A (stymulacja, eksperymentalna) oraz B (pozorowana). Podczas badania grupa A była stymulowana niskonapięciowym prądem stałym z wykorzystaniem systemu Halo Sport, firmy Halo Neuroscience (Rys.16) Intensywność stymulacji wynosiła 1.4mA. Czas sesji stymulacyjnej wynosił 20 min z początkowym 30 sekundowym okresem wzrostu napięcia oraz z końcowym 30 sekundowym wygaszaniem się napięcia. Do badań wybrano typ elektrody prostokątnej o wymiarach 6,4 x 4,4 cm, o nominalnym obszarze kontaktu 28 cm². Powierzchnie kontaktu z gąbką namoczono roztworem soli fizjologicznej (0,9% NaCl). Biorąc pod uwagę korzystny wpływ na funkcje motoryczne stymulacji anodowej jednej półkuli z jednoczasowym katodowym hamowaniem drugiej półkuli przedstawione w badaniu autora Vines i wsp. postanowiono zaadoptować taki model stymulacji wśród uczestników niniejszego badania klinicznego. Elektrode anodową umieszczoną nad korą motoryczną C3 oraz elektrodę katodową umieszczoną nad korą motoryczną C4 (Rys.17). W grupie B - pozorowanej urządzenie było trybie nieaktywnym, jednak uczestnicy nie byli o tym fakcie informowani.

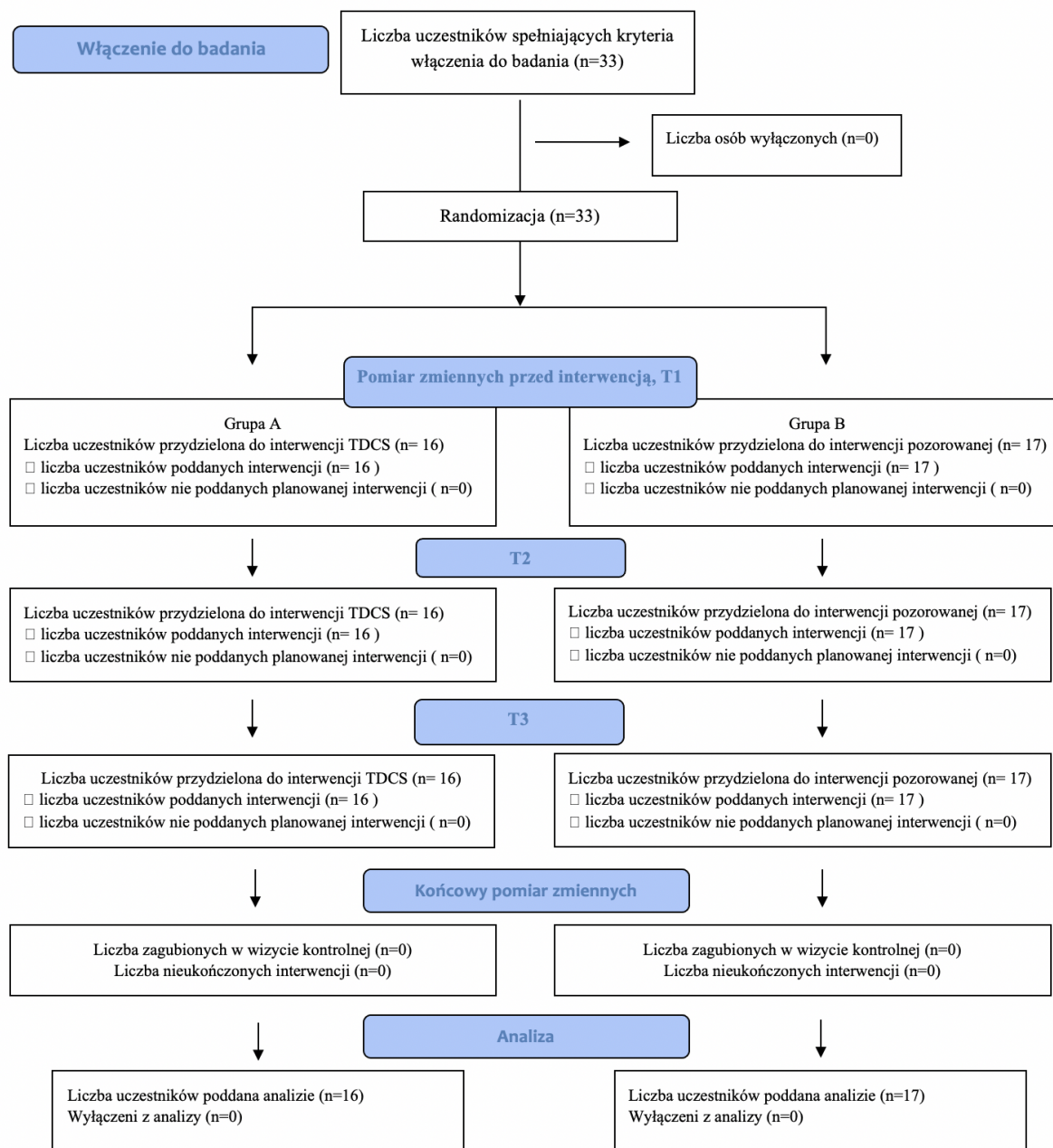


Rysunek 16. Urządzenie Halo Sport (<https://www.haloneuro.com>).



Rysunek 17. Lokalizacja elektrod do stymulacji tDCS według systemu EEG 10-20.

Procedura badania obejmowała wykonanie ćwiczeń na modelu LASTT: nawigacja kamerą, koordynacja ręka-oko oraz koordynacja dwuręczna trzykrotnie w pierwszym, trzecim i piątym dniu. Ostatnim etapem badania była wizyta kontrolna (ang. *follow-up*), w 7 dniu badania i końcowa ocena zdolności psychomotorycznych w baterii testów VTS oraz ćwiczeń na modelu LASTT (Rys.18)



Rysunek 18. Diagram pokazujący kolejne etapy przebiegu randomizowanego badania.

3.5 Analiza statystyczna

Normalność rozkładu danych ilościowych badano testem Kołmogorowa-Smirnowa z poprawką Lilleforce'a oraz testem Shapiro-Wilka. Na podstawie zebranych danych i wyników przeprowadzonych testów wykonano charakterystyki badanych grup, przedstawiając rezultaty w postaci średniej arytmetycznej (M) z podaniem odchylenia standardowego (SD). W przypadku zmiennych jakościowych (nominalnych i porządkowych) podano licznosci (n) i frakcje (%). Hipotezy statystyczne sprawdzono testem istotności t-Studenta dla zmiennych niezależnych (grupa A vs. B) i testem t-Studenta dla zmiennych powiązanych (dane wyjściowe vs. *follow-up*). W przypadku zmiennych ilościowych, których rozkład odbiegał istotnie od rozkładu normalnego korzystano z testów nieparametrycznych: do porównań w dwóch grupach niezależnych wykorzystano test U Manna-Whitney'a, gdy grup było więcej (wyniki w kolejnych dniach ćwiczeń) - test ANOVA Friedmana dla zmiennych powiązanych. Aby wykluczyć wpływ wybranych czynników jakościowych na różnice w ocenach zmiennych zależnych (trzech ćwiczeń laparoskopowych) występujące między porównywanymi grupami, zastosowano analizę kowariancji (ANCOVA). Do oceny powiązania między zbiorami zmiennych mierzalnych (ciągłych) wykorzystano analizę kanoniczną (CCA, ang. *canonical-correlation analysis*). Analiza kanoniczna, która jest uogólnieniem regresji wielorakiej na dwie grupy zmiennych, pozwala sprawdzić, czy zmienne jednej grupy mogą być użyte, by wyjaśnić jak największy zakres zmienności zmiennych drugiej grupy.

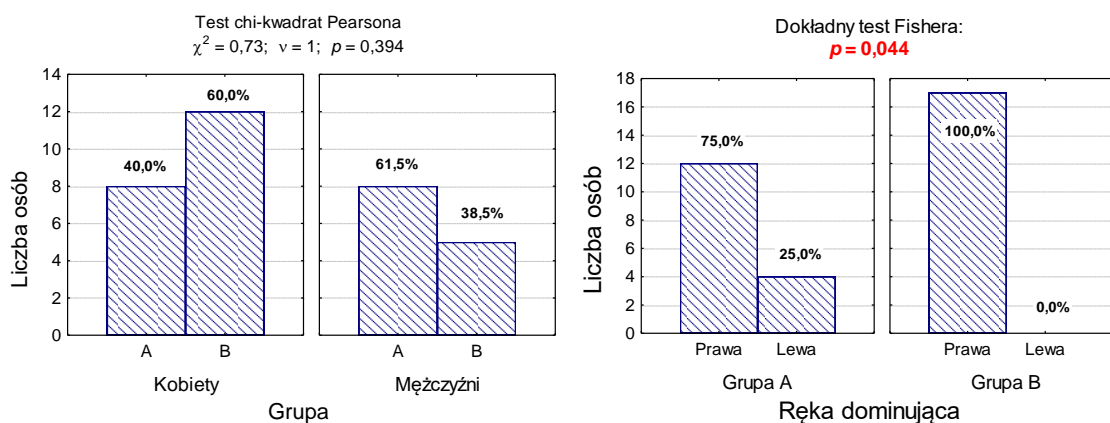
4. WYNIKI

4.1 Charakterystyka badanej grupy

Obie porównywane grupy: A - badana (eksponowana na stymulację prądem) i B - kontrolna (bez stymulacji) nie różniły się istotnie pod względem struktury płci ($p > 0,05$) natomiast w grupie A było istotnie więcej osób leworęcznych (25,0% vs. 0,0%; $p = 0,044$; Tabela 2, Rys. 19). W związku z powyższym wyniki testów VTS pod kątem zręczności i zdolności manualnych odnoszono nie do ręki prawej i lewej, ale w kategoriach ręki dominującej i niedominującej.

Tabela 2. Charakterystyka wyjściowa (ang. *baseline*) badanych studentów pod względem płci i ręki do-minującej.

Cecha (zmienna)	Grupa A Badana N = 16		Grupa B Kontrolna N = 17		Wynik testu p
	n	%	n	%	
Płeć:					
Kobiety	8	50,0	12	70,6	0,394
Mężczyźni	8	50,0	5	29,4	
Ręka dominująca:					
Prawa	12	75,0	17	100,0	0,044
Lewa	4	25,0	0	0,0	



Rysunek 19. Liczba (odsetek) osób w grupach A i B różniących się płcią i ręką dominującą oraz wyniki testu niezależności.

Zaobserwowano bardzo silną korelację pomiędzy różnymi sposobami przedstawienia koordynacji dwuręcznej, wyobraźni przestrzennej oraz zdolności manualnych ręki dominującej i niedominującej (Tabele 3 - 12) w związku z czym w dalszej analizie uwzględniono jedynie wyniki wyrażone w skali T-score. Wyniki T-score są konwersją wyników indywidualnych do postaci standardowej - skalę tę stosuje się, gdy nie jest znane odchylenie standardowe w populacji lub próba zawiera mniej niż 30 wyników. Standaryzacja wyników indywidualnych, podawanych w różnych jednostkach (sekundy, procenty, liczby błędów) konwertuje je w zmienne bezwymiarowe, co pozwala na bezpośrednie porównania różnych parametrów. Standaryzację przeprowadzono na podstawie formuły:

$$T_i = (X_i - \mu) / [s / \sqrt{n}],$$

gdzie X_i to indywidualny wynik i -tego studenta, μ - średnia w populacji, s - odchylenie standardowe w próbie, a n - liczność próby (liczba studentów). Wynik indywidualny (X_i) w skali T-score daje wyobrażenie o tym, jak daleko znajduje się on od wartości średniej w próbie. Transformacja nie zmienia relacji między indywidualnymi wynikami przedstawionymi w różnych jednostkach o czym świadczą wysokie, istotne statystycznie wartości współczynników korelacji (Tabele 3 – 12). W tabelach współczynniki korelacji Pearsona r różne od zera na poziomie istotności $p < 0,05$ zaznaczono **czerveną czcionką**.

Tabela 3. Macierz współczynników korelacji między różnym przedstawieniem wyników koordynacji dwuręcznej.

Średni czas przejścia trasy	{1} MT _{2HAND} (s)	{2} MT _{2HAND} (%)	{3} MT _{2HAND} (T-score)
{1} MT _{2HAND} (s)	-0,907	-0,963	-0,907
{2} MT _{2HAND} (%)	1,000	0,975	1,000
{3} MT _{2HAND} (T-score)	0,975	1,000	0,975

Tabela 4. Macierz współczynników korelacji między różnym przedstawieniem wyników koordynacji dwuręcznej.

Średni czas błędów	{1} ME _{2HAND} (s)	{2} ME _{2HAND} (%)	{3} ME _{2HAND} (T-score)
{1} ME _{2HAND} (s)	-0,907	-0,963	-0,907
{2} ME _{2HAND} (%)	1,000	0,975	1,000
{3} ME _{2HAND} (T-score)	0,975	1,000	0,975

Tabela 5. Macierz współczynników korelacji między różnym przedstawieniem wyników koordynacji dwuręcznej.

Procent czas błędów	{1} PE _{2HAND} (s)	{2} PE _{2HAND} (%)	{3} PE _{2HAND} (T-score)
{1} PE _{2HAND}	1,000	-0,964	-0,914
{2} PE _{2HAND} (%)	-0,964	1,000	0,952
{3} PE _{2HAND} (T-score)	-0,914	0,952	1,000

Tabela 6. Macierz współczynników korelacji między różnym przedstawieniem wyników zdolności wizualno - przestrzennej.

Wyobrażenia przestrzenne	{1}	{2}	{3}	{4}
{1} 3D WP	1,000	-0,242	0,989	0,996
{2} 3D WN	-0,242	1,000	-0,254	-0,240
{3} 3D (%)	0,989	-0,254	1,000	0,980
{4} 3D (T-score)	0,996	-0,240	0,980	1,000

Tabela 7. Macierz współczynników korelacji między różnym przedstawieniem wyników zdolności motorycznych ręki dominującej.

Celowanie	{1}	{2}	{3}	{4}
{1} MC-T – celowanie, liczba trafień	1,000	0,342	-0,258	-0,399
{2} MC-CZ – celowanie, czas (s)	0,342	1,000	-0,967	-0,972
{3} MC-CZ – celowanie, czas (%)	-0,258	-0,967	1,000	0,902
{4} MC-CZ – celowanie, czas (T-score)	-0,399	-0,972	0,902	1,000

Tabela 8. Macierz współczynników korelacji między różnym przedstawieniem wyników zdolności motorycznych ręki dominującej.

Tremor	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}
{1} MT-B – liczba błędów	1,000	-0,846	-0,932	0,864	-0,753	-0,769
{2} MT-B – (%)	-0,846	1,000	0,960	-0,764	0,909	0,904
{3} MT-B – (T-score)	-0,932	0,960	1,000	-0,817	0,871	0,886
{4} MT-B-CZ – czas błędu, (s)	0,864	-0,764	-0,817	1,000	-0,813	-0,847
{5} MT-B-CZ – czas błędu, (%)	-0,753	0,909	0,871	-0,813	1,000	0,987
{6} MT-B-CZ – czas błędu, (T-score)	-0,769	0,904	0,886	-0,847	0,987	1,000

Tabela 9. Macierz współczynników korelacji między różnym przedstawieniem wyników zdolności motorycznych ręki dominującej.

Śledzenie liniowe	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}
{1} MS-B – liczba błędów	1,000	-0,968	-0,979	0,755	-0,730	-0,751
{2} MSs-B – (%)	-0,968	1,000	0,960	-0,717	0,744	0,745
{3} MS-B – (T-score)	-0,979	0,960	1,000	-0,749	0,737	0,758
{4} MS-B-CZ – (s)	0,755	-0,717	-0,749	1,000	-0,922	-0,966
{5} MS-B-CZ – (%)	-0,730	0,744	0,737	-0,922	1,000	0,958
{6} MS-B-CZ – (T-score)	-0,751	0,745	0,758	-0,966	0,958	1,000

Tabela 10. Macierz współczynników korelacji między różnym przedstawieniem wyników zdolności motorycznych ręki dominującej.

Śledzenie liniowe – czas całkowity	{1}	{2}	{3}
{1} MS-CZ – czas całkowity, (s)	1,000	-0,946	-0,966
{2} MS-CZ – czas całkowity, (%)	-0,946	1,000	0,989
{3} MS-CZ – czas całkowity, (T-score)	-0,966	0,989	1,000

Tabela 11. Macierz współczynników korelacji między różnym przedstawieniem wyników zdolności motorycznych ręki dominującej.

Tapping	{1}	{2}	{3}
{1} TAP – tapping, liczba trafnych	1,000	0,906	0,958
{2} TAP – tapping, (%)	0,906	1,000	0,974
{3} TAP – tapping, (T-score)	0,958	0,974	1,000

Tabela 12. Macierz współczynników korelacji między wynikami zdolności motorycznych ręki dominującej i niedominującej w skali T-score.

Zdolności manualne przed ćwiczeniami	Współczynnik korelacji
MC-CZ – celowanie, czas (T-score)	0,560
MT-B – (T-score)	0,615
MT-B-CZ – czas błędu, (T-score)	0,406
MS-B – (T-score)	0,534
MS-B-CZ – (T-score)	0,608
MS-CZ – czas całkowity, (T-score)	0,747
TAP – tapping, (T-score)	0,660

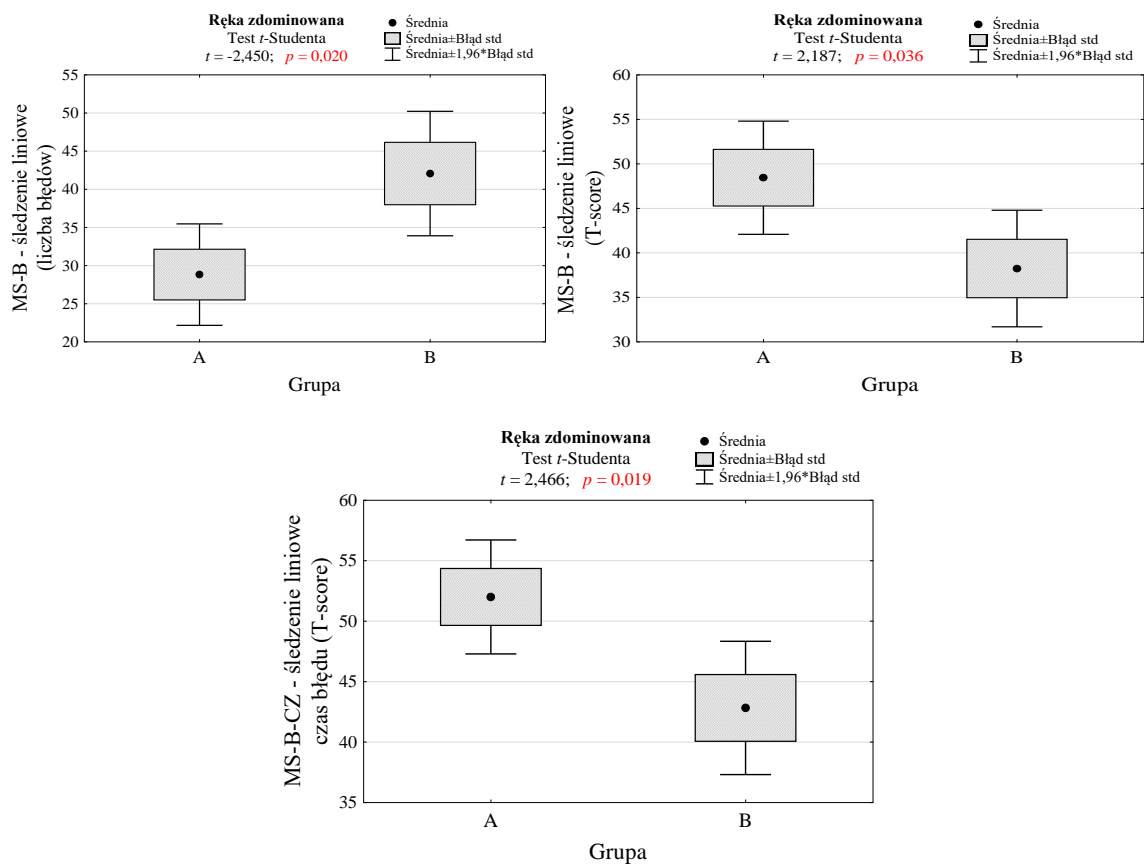
W związku z tym, że randomizacja nie jest sposobem niezawodnym w doborze grup, sprawdzono rozkład wybranych (najważniejszych) czynników rokowniczych w wyodrębnionych grupach. Podstawowe statystyki opisowe (średnia \pm odchylenie standardowe) wszystkich rejestrowanych wyjściowych wyników zmiennych jakościowych i ilościowych w grupie badanej (A) i kontrolnej (B) zamieszczono w tabelach 13 i 14. Wyniki testów statystycznych wskazują na brak istotnych różnic między grupą badaną i kontrolną pod względem większości analizowanych parametrów, co umożliwia dokonanie porównań międzygrupowych w związku z analizowanymi zmiennymi. Wyjściowe zdolności koordynacji dwuręcznej - Test 2HAND, zdolności wizualno-przestrzenne - Test 3D nie różniły się istotnie ($p > 0,05$). Oceny zdolności motorycznych ręki dominującej, celowanie-MC, tremor- MT, śledzenie liniowe- MS oraz tapping- TAP nie różniły się istotnie statystycznie ($p > 0,05$). Jedyne istotne różnice zaobserwowano w wyjściowej ocenie zdolności motorycznych śledzenia liniowego MS-B dla ręki niedominującej. Liczba błędów i czas błędów studentów grupy A były wyższe od ocen studentów grupy B ($p < 0,05$; Tabela 14, ryc. 20).

Tabela 13. Charakterystyka wyjściowa (ang. *baseline*) badanych studentów w porównywanych grupach i wyniki testów statystycznych.

Cecha (zmienna)	Grupa A		Grupa B		Wynik testu p
	Badana		Kontrolna		
	N = 16		N = 17		
	n	%	n	%	
Test 2HAND – Koordynacja dwuręczna					
MT _{2HAND} – średni czas przejścia trasy (s)	29,8 ± 11,0		25,8 ± 7,6		0,228
MT _{2HAND} (%)	30,1 ± 25,1		32,9 ± 19,2		0,718
MT _{2HAND} (T-score)	42,9 ± 8,8		44,6 ± 6,4		0,511
ME _{2HAND} – średni czas błędów (s)	1,0 ± 0,7		1,8 ± 1,8		0,136
ME _{2HAND} (%)	64,2 ± 28,6		53,8 ± 34,7		0,358
ME _{2HAND} (T-score)	56,1 ± 12,0		51,2 ± 13,1		0,267
PE _{2HAND} – procent czasu błędów	4,3 ± 3,7		6,8 ± 5,9		0,164
PE _{2HAND} (%)	73,4 ± 27,0		60,3 ± 32,6		0,220
PE _{2HAND} (T-score)	59,3 ± 11,3		53,9 ± 11,2		0,186
UK – utrata koncentracji	2,24 ± 0,58		2,15 ± 0,46		0,631
Test 3D – Zdolności wizualno - przestrzenne					
3D WP – wartości prawidłowe, wynik surowy	17,4 ± 3,3		17,5 ± 3,3		0,977
3D WN – wartości nieprawidłowe, wynik surowy	4,88 ± 3,54		4,18 ± 3,43		0,569
3D (%)	68,7 ± 20,7		68,2 ± 20,7		0,944
3D (T-score)	55,8 ± 6,5		55,9 ± 6,6		0,955
Test MLS - Zdolności motoryczne – ręka dominująca					
MC-T – celowanie, liczba trafień	19,1 ± 2,5		19,3 ± 0,9		0,796
MC-CZ – celowanie, czas (s)	6,7 ± 1,2		6,6 ± 1,0		0,101
MC-CZ – celowanie, czas (%)	84,3 ± 19,5		85,1 ± 18,5		0,904
MC-CZ – celowanie, czas (T-score)	64,9 ± 11,0		63,7 ± 8,2		0,730
MT-B – tremor, liczba błędów	9,6 ± 9,1		15,2 ± 18,7		0,287
MT-B – tremor, (%)	53,9 ± 26,7		48,1 ± 35,1		0,598
MT-B – tremor, (T-score)	50,9 ± 8,9		47,4 ± 16,0		0,443
MT-B-CZ – tremor, czas błędu, (s)	0,63 ± 0,57		1,36 ± 1,84		0,136
MT-B-CZ – tremor, czas błędu, (%)	61,4 ± 21,9		50,1 ± 35,1		0,276
MT-B-CZ – tremor, czas błędu, (T-score)	53,6 ± 6,6		49,8 ± 12,8		0,303
MS-B – śledzenie liniowe, liczba błędów	22,4 ± 6,5		23,4 ± 11,3		0,765
MS-B – śledzenie liniowe, (%)	56,3 ± 26,2		52,9 ± 35,7		0,756
MS-B – śledzenie liniowe, (T-score)	51,6 ± 8,0		47,6 ± 16,8		0,398
MS-B-CZ – śledzenie liniowe, czas błędu, (s)	1,92 ± 0,79		2,10 ± 1,48		0,680
MS-B-CZ – śledzenie liniowe, czas błędu, (%)	64,4 ± 25,5		59,1 ± 32,0		0,603
MS-B-CZ – śledzenie liniowe, czas błędu, (T-score)	54,8 ± 8,4		52,4 ± 12,7		0,520
MS-CZ – śledzenie liniowe, czas całkowity, (s)	38,7 ± 11,4		41,7 ± 15,8		0,531
MS-CZ – śledzenie liniowe, czas całkowity, (%)	34,6 ± 22,7		33,8 ± 30,6		0,933
MS-CZ – śledzenie liniowe, czas całkowity, (T-score)	45,3 ± 6,7		45,0 ± 10,2		0,935
TAP – tapping, liczba trafnych	201 ± 32		210 ± 20		0,376
TAP – tapping, (%)	60,1 ± 33,6		62,8 ± 27,7		0,801
TAP – tapping, (T-score)	53,3 ± 13,7		53,9 ± 9,6		0,883

Tabela 14. Charakterystyka wyjściowa zdolności motorycznych ręki niedominującej.

Cecha (zmienna)	Grupa A	Grupa B	Wynik testu p
	Badana N = 16	Kontrolna N = 17	
Test MLS - Zdolności motoryczne – ręka niedominująca	M ± SD	M ± SD	
MC-T – celowanie, liczba trafień	18,3 ± 3,1	20,0 ± 2,3	0,073
MC-CZ – celowanie, czas (s)	8,6 ± 2,3	7,8 ± 1,4	0,228
MC-CZ – celowanie, czas (%)	57,9 ± 34,2	72,9 ± 22,9	0,144
MC-CZ – celowanie, czas (T-score)	54,3 ± 13,4	57,4 ± 7,9	0,412
MT-B – tremor, liczba błędów	18,6 ± 19,7	18,5 ± 16,7	0,989
MT-B – tremor, (%)	46,5 ± 32,8	46,8 ± 32,1	0,977
MT-B – tremor, (T-score)	48,4 ± 11,4	48,5 ± 11,1	0,969
MT-B-CZ – tremor, czas błędu, (s)	2,34 ± 2,82	2,00 ± 2,16	0,701
MT-B-CZ – tremor, czas błędu, (%)	47,4 ± 32,8	47,9 ± 29,0	0,958
MT-B-CZ – tremor, czas błędu, (T-score)	48,3 ± 12,2	49,6 ± 9,1	0,711
MS-B – śledzenie liniowe, liczba błędów	28,8 ± 13,6	42,1 ± 17,2	0,020
MS-B – śledzenie liniowe, (%)	46,0 ± 34,2	24,4 ± 32,7	0,073
MS-B – śledzenie liniowe, (T-score)	48,4 ± 13,0	38,2 ± 13,8	0,036
MS-B-CZ – śledzenie liniowe, czas błędu, (s)	2,62 ± 1,21	4,48 ± 2,33	0,008
MS-B-CZ – śledzenie liniowe, czas błędu, (%)	54,2 ± 27,8	31,2 ± 32,6	0,037
MS-B-CZ – śledzenie liniowe, czas błędu, (T-score)	52,0 ± 9,6	42,8 ± 11,6	0,019
MS-CZ - śledzenie liniowe, czas całkowity, (s)	42,2 ± 15,1	39,8 ± 13,4	0,638
MS-CZ - śledzenie liniowe, czas całkowity, (%)	30,8 ± 23,3	32,7 ± 21,4	0,803
MS-CZ - śledzenie liniowe, czas całkowity, (T-score)	43,6 ± 7,7	44,5 ± 7,5	0,733
TAP – tapping, liczba trafnych	177 ± 38	183 ± 14	0,556
TAP – tapping, (%)	43,8 ± 36,5	55,9 ± 21,4	0,250
TAP – tapping, (T-score)	46,8 ± 16,5	51,6 ± 6,1	0,274



Rysunek 20. Wyjściowa ocena zdolności motorycznych ręki niedominującej (śledzenie liniowe, liczba błędów i czas błędów) w porównywanych grupach (A – badana, B – kontrolna) i wyniki testów istotności.

Zarówno w grupie A jak i B zaobserwowano istotną statystycznie różnicę między wynikami parametru MC-CZ (celowanie, czas w skali T-score) ręki dominującej i niedominującej ($p < 0,05$). Podstawowe statystyki wyników wyjściowe zdolności motorycznych ręki dominującej i niedominującej w grupach A i B oraz wyniki testów istotności zamieszczono w tabeli 15.

Tabela 15. Wyjściowe zdolności motoryczne ręki dominującej i niedominującej w porównywanych grupach i wyniki testów istotności.

	Grupa A			Grupa B		
	Dominująca	Niedominująca	<i>p</i>	Dominująca	Niedominująca	<i>p</i>
MC-T, (liczba)	19,1 ± 2,5	18,3 ± 3,1	0,338	19,3 ± 0,9	20,0 ± 2,3	0,303
MC-CZ, (s)	6,7 ± 1,2	8,6 ± 2,3	0,003	6,6 ± 1,0	7,8 ± 1,4	0,001
MC-CZ, (%)	84,3 ± 19,5	57,9 ± 34,2	0,010	85,1 ± 18,5	72,9 ± 22,9	0,029
MC-CZ, (T-score)	64,9 ± 11,0	54,3 ± 13,4	0,004	63,7 ± 8,2	57,4 ± 7,9	0,002
MT-B, (liczba)	9,6 ± 9,1	18,6 ± 19,7	0,066	15,2 ± 18,7	18,5 ± 16,7	0,358
MT-B, (%)	53,9 ± 26,7	46,5 ± 32,8	0,393	48,1 ± 35,1	46,8 ± 32,1	0,800
MT-B, (T-score)	50,9 ± 8,9	48,4 ± 11,4	0,388	47,4 ± 16,0	48,5 ± 11,1	0,644
MT-B-CZ, (s)	0,63 ± 0,57	2,34 ± 2,82	0,028	1,36 ± 1,84	2,00 ± 2,16	0,192
MT-B-CZ, (%)	61,4 ± 21,9	47,4 ± 32,8	0,148	50,1 ± 35,1	47,9 ± 29,0	0,679
MT-B-CZ, (T-score)	53,6 ± 6,6	48,3 ± 12,2	0,148	49,8 ± 12,8	49,6 ± 9,1	0,928
MS-B, (liczba)	22,4 ± 6,5	28,8 ± 13,6	0,046	23,4 ± 11,3	42,1 ± 17,2	<0,001
MS-B, (%)	56,3 ± 26,2	46,0 ± 34,2	0,178	52,9 ± 35,7	24,4 ± 32,7	0,003
MS-B, (T-score)	51,6 ± 8,0	48,4 ± 13,0	0,261	47,6 ± 16,8	38,3 ± 13,8	0,020
MS-B-CZ, (s)	1,92 ± 0,78	2,62 ± 1,21	0,008	2,10 ± 1,48	4,48 ± 2,33	<0,001
MS-B-CZ, (%)	64,4 ± 25,5	54,2 ± 27,8	0,098	59,1 ± 32,0	31,2 ± 32,6	0,001
MS-B-CZ, (T-score)	54,8 ± 8,4	52,0 ± 9,6	0,176	52,4 ± 12,7	42,8 ± 11,6	0,002
MS-CZ, (s)	38,7 ± 11,4	42,2 ± 15,1	0,181	41,7 ± 15,8	39,8 ± 13,4	0,504
MS-CZ, (%)	34,6 ± 22,7	30,8 ± 23,3	0,335	33,8 ± 30,6	32,7 ± 21,4	0,821
MS-CZ, (T-score)	45,3 ± 6,7	43,6 ± 7,7	0,182	45,0 ± 10,2	44,5 ± 7,5	0,747
TAP, (liczba)	202 ± 32	177 ± 38	<0,001	209 ± 20	183 ± 14	<0,001
TAP, (%)	60,1 ± 33,6	46,3 ± 36,4	0,061	62,8 ± 27,7	55,9 ± 21,4	0,289
TAP, (T-score)	53,3 ± 13,7	47,6 ± 16,8	0,070	53,9 ± 9,6	51,6 ± 6,1	0,283

MC-T – celowanie, liczba trafień; MC-CZ - celowanie, czas; MT-B - tremor, liczba błędów; MT-B-CZ - tremor, czas błędu; MS-B - śledzenie liniowe, liczba błędów; MS-B-CZ - śledzenie liniowe, czas błędu; MS-CZ - śledzenie liniowe, czas całkowity; TAP – *tapping*, liczba trafnych

4.2 Umiejętności laparoskopowe

Wyniki ćwiczeń laparoskopowych na modelu LASTT ($M \pm SD$) uzyskanych przez studentów grupy A i B w pierwszym dniu badania przed stymulacją (ang. *baseline*) zamieszczono w tabeli 16.

Tabela 16. Wyniki testów służących do pomiaru wyjściowego poziomu kompetencji w zakresie podstawowych laparoskopowych umiejętności psychomotorycznych na modelu LASTT w grupach studentów różniących się stymulacją prądem i wyniki testów istotności t-Studenta.

Ocena	Grupa A	Grupa B	Wynik testu <i>p</i>
	<i>N</i> = 16	<i>N</i> = 17	
CN (<i>Camera Navigation</i>)	18,7 ± 17,2	24,1 ± 18,8	0,140
HE (<i>Hand-eye coordination</i>)	22,9 ± 19,5	25,0 ± 22,9	0,628
Bi (<i>Bimanual coordination</i>)	28,3 ± 19,1	25,4 ± 16,6	0,416

M - średnia; *SD* – odchylenie standardowe, *p* – poziom istotności testu *t*-Studenta

Porównanie wyników wyjściowych (wykonanie poszczególnych zadań testu LASTT w skali T-score; tabela 14; $p > 0,05$) wskazuje na brak istotnych statystycznie różnic w poziomie kompetencji studentów obu grup w zakresie podstawowych laparoskopowych umiejętności psychomotorycznych, tzn. w nawigacji kamerą (CN), koordynacji ręka-oko (HE) i koordynacji dwuręcznej (Bi).

Wyniki analizy jednoczynnikowej - analizy regresji liniowej, między końcowymi ocenami trzech ćwiczeń laparoskopowych (CN-T4, HE-T4 i Bi-T4 w skali T-score) a zmiennymi niezależnymi (stymulacja, płeć, oceny za ćwiczenia laparoskopowe w pierwszym dniu, tzn. CN-T1, HE-T1 i Bi-T1) oraz wstępnymi predyspozycjami zamieszczono w tabeli 17.

Tabela 17. Wyniki analizy jednoczynnikowej - analizy regresji liniowej, między końcowymi ocenami trzech ćwiczeń laparoskopowych (CN-T4, HE-T4 i Bi-T4 w skali T-score) a zmiennymi niezależnymi (stymulacja, płeć, oceny za ćwiczenia laparoskopowe w pierwszym dniu, tzn. CN-T1, HE-T1 i Bi-T1).

Pedyktory oceny końcowej ćwiczeń laparoskopowych	CN – T4 (T-score)		HE – T4 (T-score)		Bi – T4 (T-score)	
	<i>b</i>	<i>p</i>	<i>b</i>	<i>p</i>	<i>b</i>	<i>p</i>
	Stymulacja (1 – tak, 0 – nie)	3,37	0,581	-4,88	0,439	16,72
Płeć (1 – kobieta, 0 – mężczyzna)	-15,6	0,008	-1,08	0,868	-20,1	0,005
Ręka dominująca (1 – prawa, 0 – lewa)	10,8	0,246	14,9	0,118	1,51	0,896
Wyobraźnia przestrzenna 3D T1 (T-score)	1,35	0,003	1,23	0,009	0,31	0,599
Średni czas przejścia trasy MT _{2HAND} T1 (T-score)	0,66	0,101	0,32	0,450	0,20	0,691
Średni czas błędów ME _{2HAND} T1 (T-score)	0,43	0,069	-0,01	0,964	-0,06	0,850
Procent czasu błędów PE _{2HAND} T1 (T-score)	0,34	0,209	-0,09	0,761	-0,14	0,673
UK T1 (-)	6,39	0,288	4,08	0,515	10,1	0,168
Celowanie MC-CZ T1 (T-score)	-0,42	0,188	-0,50	0,135	-0,41	0,306
Tremor - liczba błędów MT-B T1 (T-score)	-0,00	0,991	-0,53	0,028	-0,34	0,246
Tremor - czas błędu MT-B-CZ T1 (T-score)	-0,11	0,716	-0,52	0,088	-0,31	0,401
Śledzenie liniowe – liczba błędów MS-B T1 (T-score)	0,05	0,847	-0,22	0,360	0,05	0,856
Śledzenie liniowe – czas MS-B-CZ T1 (T-score)	0,23	0,421	-0,13	0,668	0,22	0,534
Śledzenie liniowe – czas całkowity MS-CZ T1 (T-score)	-0,19	0,591	0,16	0,673	0,09	0,846
Tapping TAP T1 (T-score)	0,11	0,670	0,28	0,301	0,10	0,745
CN T1 (T-score)	0,65	<0,001	0,40	0,018	0,41	0,045
HE T1 (T-score)	0,30	0,033	0,34	0,019	0,35	0,041
Bi T1 (T-score)	0,41	0,045	0,35	0,041	0,24	0,249

Celem ustalenia niezależnych predyktorów oceny końcowej wykonania ćwiczeń laparoskopowych przeprowadzono analizę regresji wielorakiej, w wyniku której uzyskano następujące formuły (modele liniowe) umożliwiające oszacowanie ocen w skali T-score:

Dla nawigacji kamerą (w siódmym dniu badania):

$$CN_{T4} = 25,1 - 11,8 * Kobieta + 0,96 * 3D_{T1} + 0,42 * CN_{T1} \pm 10,7$$

dla którego współczynnik regresji wielorakiej wynosi $R = 0,805$ a model wyjaśnia 61,2% zmienności oceny CN_{T4} .

Dla koordynacji ręka-oko (w siódmym dniu badania):

$$HE_{T4} = 42,6 + 1,15 * 3D_{T1} - 0,68 * MT-B_{T1} + 0,25 * HE_{T1} \pm 13,2$$

dla którego współczynnik regresji wielorakiej wynosi $R = 0,706$ a model wyjaśnia 44,7% zmienności oceny HE_{T4} .

Na obie oceny (CN_{T4} i HE_{T4}) nie miała wpływu stymulacja niskonapięciowym prądem stałym (zmienna *Stymulacja* nie została włączona do modelu), a niezależnymi predyktorami była zdolność wizualno-przestrzenna w pierwszym dniu badania (zmienna $3D_{T1}$) oraz ocena umiejętności w pierwszym dniu badania. Dodatkowo ocenę CN_{T4} determinuje płeć męska. Na koordynację ręka-oko dodatkowo wpływał wynik $MT-B_{T1}$ (tremor - liczba błędów w pierwszym dniu).

Dla koordynacji dwuręcznej (w siódmym dniu badania) model przyjmuje postać:

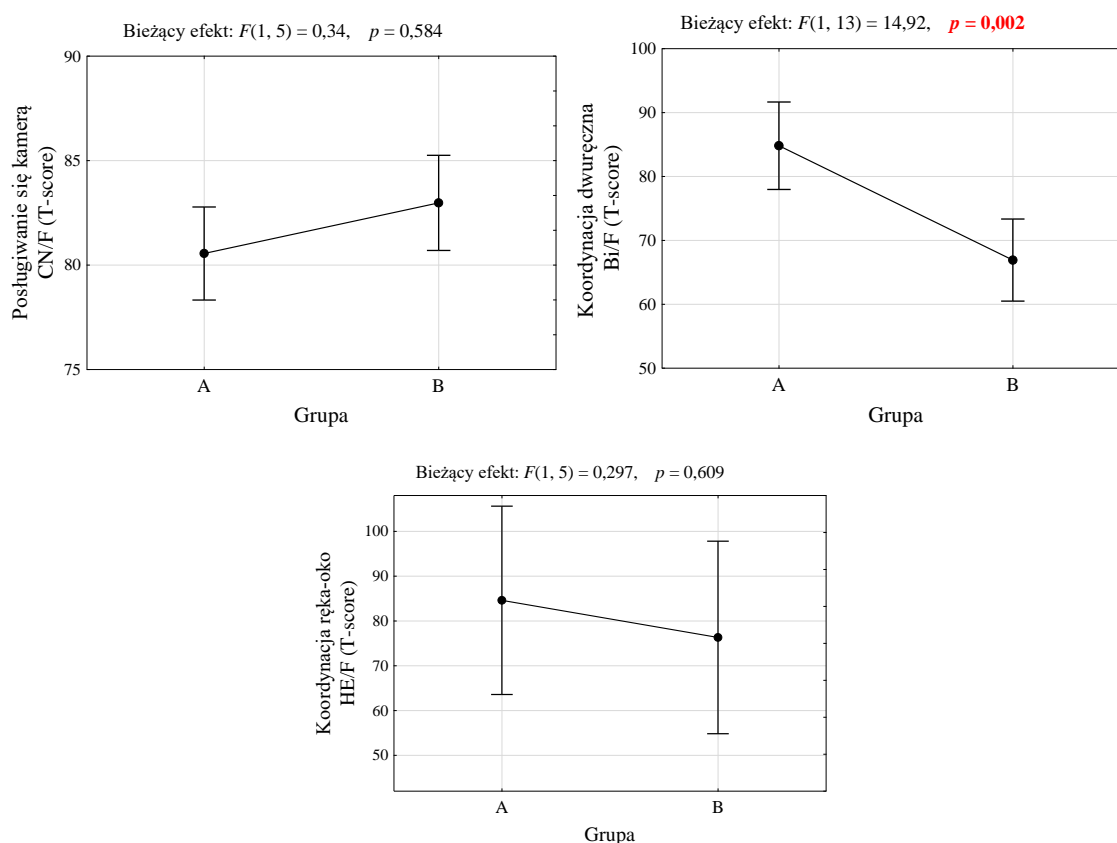
$$Bi_{T4} = 69,2 + 14,2 * Stymulacja - 15,2 * Kobieta + 0,32 * HE_{T1} \pm 16,8$$

dla którego współczynnik regresji wielorakiej wynosi $R = 0,651$ a model wyjaśnia 36,4% zmienności oceny Bi_{T4} .

Oceną końcową koordynacji dwuręcznej (Bi_{T4}) determinuje dodatnio stymulacja niskonapięciowym prądem, płeć męska oraz wynik koordynacji ręka-oko oraz nawigacja kamerą w pierwszym dniu badania. Co ciekawe, na końcową ocenę Bi_{T4} nie miała wpływu ocena Bi_{T1} (koordynacja dwuręczna w pierwszym dniu badania).

Na zmienną zależną (poziom umiejętności laparoskopowych zmierzony testem LASTT po 7 dniach) oddziałują zarówno zmienne jakościowe (stymulacja, płeć, jak i ilościowe - wyjściowe

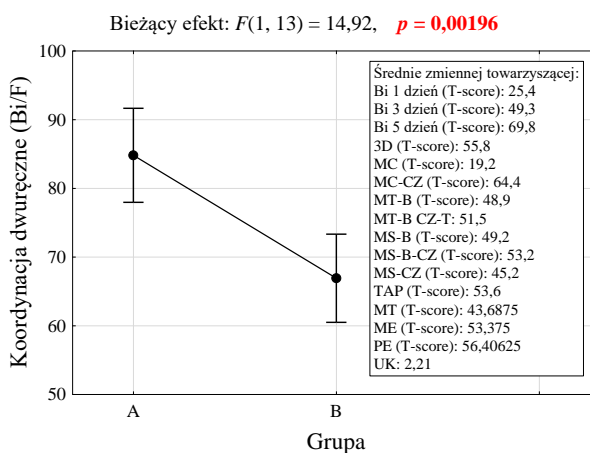
zdolności manualne studentów). Ponieważ założono, że wyjściowe zdolności manualne są powiązane z kompetencjami laparoskopowymi, zmienne te uznano za zmienne towarzyszące (zakłócające), które należy uwzględnić w badaniu wpływu stymulacji. Ćwiczenia laparoskopowe w każdej sesji były wykonywane trzykrotnie. Ich oceny (zmienne zależne) miały charakter ilościowy, natomiast zmienne niezależne (opisujące) były zarówno typu ilościowego (wstępne predyspozycje - wyniki testów MLS, 2HAND i 3D w pierwszym dniu) jak i jakościowego (stymulacja - Tak/Nie, Płeć – kobieta/mężczyzna, ręka dominująca - prawa/lewa). W związku z powyższym wykorzystano analizę kowariancji (ANCOVA), którą wykorzystuje się w sytuacjach, w których na zmienną zależną ilościową oddziałują zarówno zmienne jakościowe jak i ilościowe. Wyniki analiz zamieszczono w tabelach 7, 8 i 9 oraz zilustrowano (Rys. 21 i 22).



Rysunek 21. Graficzna interpretacja analizy kowariancji (ANCOVA) - oczekiwane średnie brzegowe w grupie A (badana) i B (kontrolna) umiejętności posługiwania się kamerą (CNT4), koordynacji dwuręcznej (BiT4) i koordynacji ręka-oko (HET4). Pionowe słupki oznaczają wyniki koordynacji dwuręcznej (Bi_{T4}) i koordynacji ręka-oko (HE_{T4}). Pionowe słupki oznaczają 95% przedziały ufności.

Istotny statystycznie pozytywny wpływ stymulacji niskonapięciowym prądem stałym dotyczył zmiennej - koordynacji dwuręcznej (Bi_{T4}). W grupie stymulowanej (A) poziom koordynacji dwuręcznej (Bi_{T4}) w 7 dniu badania był istotnie wyższy w porównaniu do grupy kontrolnej (B). Zmiennymi istotnie wpływającym na poziom koordynacji dwuręcznej po okresie nauki (Bi_{T4}) oprócz przynależność do grupy A (Rys. 21) były poziom koordynacji w 5. dniu, wyjściowe śledzenie liniowe ręki dominującej (MS-B) i wyjściowy czas błędu śledzenia liniowego ręki dominującej (MS-B-CZ) (tabela 18 i Rys. 22).

Stymulacja niskonapięciowym prądem nie wpłynęła istotnie na umiejętność posługiwania się kamerą (CN_{T4}) ani na koordynację ręka-oko (HE_{T4}).

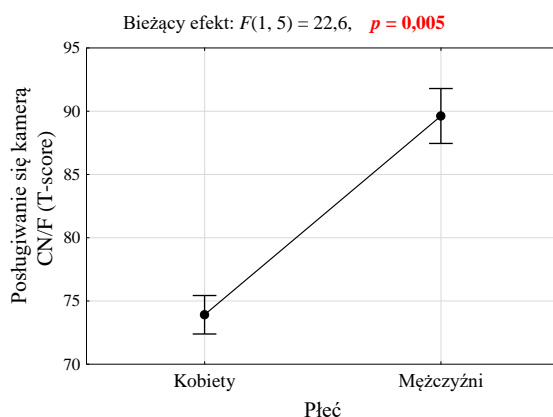


Rysunek 22. Graficzna interpretacja analizy kowariancji (ANCOVA) - oczekiwane średnie brzegowe koordynacji dwuręcznej (Bi/F) obliczone dla wartości średnich zmiennych towarzyszących (w ramce).

Tabela 18. Wyniki analizy kowariancji (ANCOVA) dla koordynacji dwuręcznej BiT4 po okresie nauki (ang. *follow-up*).

Efekt	SS	Stopnie swobody	MS	F	p
Wyraz wolny	965,6	1	965,6	9,0	0,010
Bi _{T1} dzień (T-score)	104,8	1	104,8	0,97	0,342
Bi _{T2} 3 dzień (T-score)	260,6	1	260,6	2,42	0,143
Bi _{T3} 5 dzień (T-score)	1404,1	1	1404,1	13,1	0,003
3D _{T1} (T-score)	38,4	1	38,4	0,36	0,561
UK	83,3	1	83,3	0,78	0,395
MC (T-score)	431,3	1	431,3	4,01	0,067
MC-CZ (T-score)	71,0	1	71,0	0,66	0,431
MT-B (T-score)	112,8	1	112,8	1,05	0,324
MT-B-CZ (T-score)	435,6	1	435,6	4,05	0,065
MS-B (T-score)	885,5	1	885,5	8,24	0,013
MS-B-CZ (T-score)	1584,9	1	1584,9	14,7	0,002
TAP (T-score)	38,8	1	38,8	0,36	0,558
MT (T-score)	43,6	1	43,6	0,41	0,535
ME (T-score)	3,5	1	3,5	0,03	0,859
PE (T-score)	84,2	1	84,2	0,78	0,392
UK	15,7	1	15,7	0,15	0,709
Stymulacja (Grupa)	1604,0	1	1604,0	14,9	0,002
Płeć	140,7	1	140,7	1,31	0,273
Błąd	1397,7	13	107,5		

Na umiejętność posługiwania się kamerą (CN_{T4}) istotnym determinantem była płeć studenta, gdzie mężczyźni uzyskiwali istotnie lepsze wyniki (Rys. 23).



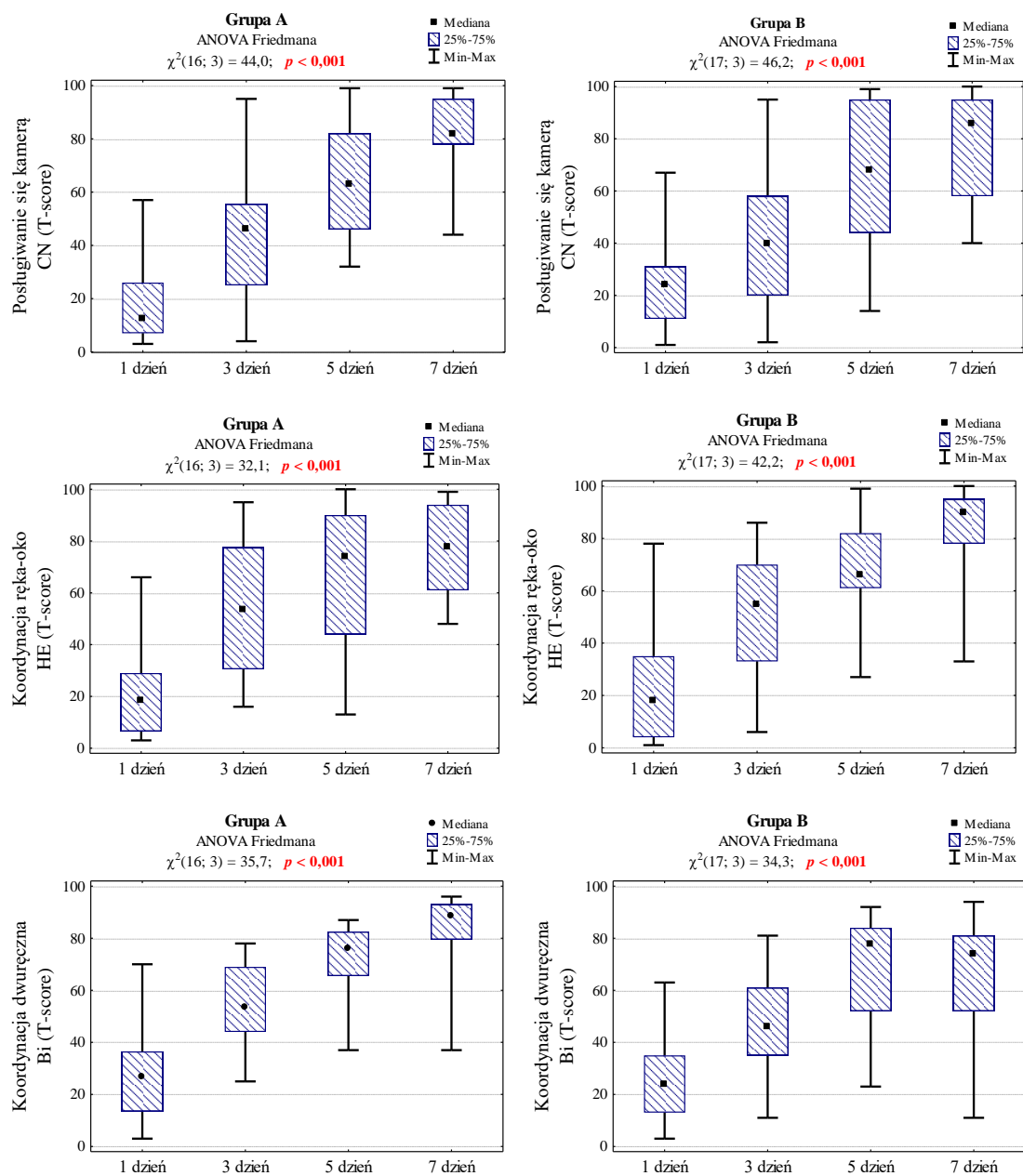
Rysunek 23. Graficzna interpretacja analizy kowariancji (ANCOVA)– oczekiwane średnie brzegowe umiejętności posługiwania się kamerą (CN_{T4}) studentek i studentów obliczone dla wartości średnich zmiennych towarzyszących. Pionowe słupki oznaczają 95% przedziały ufności.

W przypadku zmiennych ilościowych, których rozkład odbiegał istotnie od rozkładu normalnego korzystano z testów nieparametrycznych: do porównań w dwóch grupach niezależnych wykorzystano test U Manna-Whitney’a, gdy grup było więcej (wyniki w kolejnych dniach ćwiczeń) – test ANOVA Friedmana dla zmiennych powiązanych. Zarówno testy parametryczne (t-Studenta i ANCOVA) jak i nieparametryczne (U Manna-Whitneya i ANOVA Friedmana) potwierdzają, że stymulacja niskonapięciowym prądem poprawia efekt końcowy uczenia studentów koordynacji dwuręcznej (Bi_{T4}) - Tabela 19, Rys. 24-25.

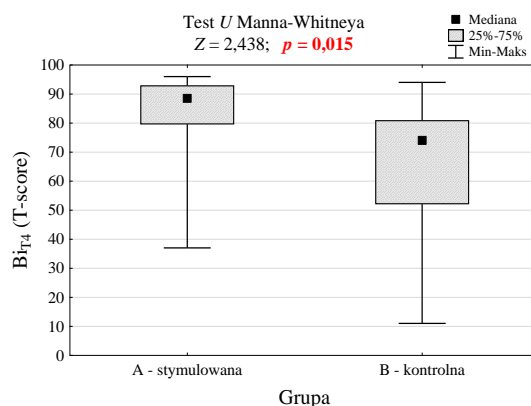
Tabela 19. Wyniki ćwiczeń służących do oceny kompetencji w zakresie podstawowych laparoskopowych umiejętności psychomotorycznych w określonym środowisku macicy w grupach studentów różniących się stymulacją prądem i wyniki testów istotności U Manna-Whitneya.

Ocena wykonania zadania		Grupa A	Grupa B	Wynik testu <i>p</i>
		<i>N</i> = 16	<i>N</i> = 17	
CN (<i>Camera Navigaton</i>)	T1, [1. dzień]	13 (7-26)	24 (11-31)	0,377
CN	T2, [3. dzień]	46 (25-56)	40 (20-58)	0,986
CN	T3, [5. dzień]	63 (46-82)	68 (44-95)	0,871
CN	T4, [7. dzień]	82 (78-95)	86 (58-95)	0,855
HE (<i>Hand-eye coordination</i>)	T1, [1. dzień]	19 (7-29)	18 (4-35)	0,914
HE	T2, [3. dzień]	54 (31-78)	55 (33-70)	0,900
HE	T3, [5. dzień]	74 (44-90)	66 (61-82)	0,899
HE	T4, [7. dzień]			0,337
Bi (<i>Bimanual coordination</i>)	T1, [1. dzień]	27 (14-37)	24 (13-35)	0,732
Bi	T2, [3. dzień]	54 (44-69)	46 (35-61)	0,367
Bi	T3, [5. dzień]	76 (66-83)	78 (52-84)	0,971
Bi	T4, [7. dzień]			0,015

Me - mediana; (*Q1-Q3*) – przedział ćwiartkowy (międzykwartyłowy), *p* –poziom istotności testu *U* Manna-Whitneya



Rysunek 24. Statystyki pozycyjne wyników ćwiczeń (nawigacja za pomocą kamery laparoskopowej – CN; koordynacja ręka – oko - HE; koordynacja dwuręczna - Bi) w kolejnych dniach nauki w porównywanych grupach studentów.



Rysunek 25. Graficzna interpretacja testu nieparametrycznego U Manna-Whitneya dla koordynacji dwuręcznej (Bi_{T4}).

4.3 Analiza kanoniczna

Kolejnym celem analizy statystycznej uzyskanych wyników było ustalenie, które parametry testów MLS, 2 HAND i 3D korelują istotnie (pozytywnie lub negatywnie) z ocenami CN_{T1} , HE_{T1} i Bi_{T1} . Do oceny powiązania między tymi dwoma zbiorami zmiennych mierzalnych (ciągłych) wykorzystano analizę kanoniczną (CCA, ang. *canonical-correlation analysis*). Analiza kanoniczna, która jest uogólnieniem regresji wielorakiej na dwie grupy zmiennych, pozwala sprawdzić, czy zmienne jednej grupy mogą być użyte, by wyjaśnić jak największy zakres zmienności zmiennych drugiej grupy. Z uwagi na różne jednostki zmiennych, analizę przeprowadzono na zmiennych przetransformowanych do skali T-score. Wzięto pod uwagę następujące parametry zmierzone pierwszego dnia ($T1$):

- średni czas przejścia trasy MT_{2HAND} (T-score),
- średni czas błędów ME_{2HAND} (T-score),
- procent czasu błędów PE_{2HAND} (T-score),
- wyobraźnia przestrzenna 3D (T-score),

zdolności manualne ręki dominującej:

- celowanie MC-CZ (T-score),
- tremor MT-B (T-score),
- tremor – czas błędu MT-B-CZ (T-score),
- śledzenie liniowe MS-B (T-score),
- śledzenie liniowe MS-B-CZ, czas błędu (T-score),
- śledzenie liniowe, czas całkowity MS-CZ (T-score),
- tapping TAP (T-score).

Wyniki testów służących do pomiaru wyjściowego poziomu kompetencji w zakresie podstawowych laparoskopowych umiejętności psychomotorycznych reprezentowały zmienne:

ocena nawigacja kamerą w pierwszym teście CN_{T1} (T-score),

ocena koordynacji ręka-oko HE_{T1} (T-score),

ocena koordynacji dwuręcznej Bi_{T1} (T-score),

Wynik analizy kanonicznej zamieszczono w tabeli 20.

Współczynnik korelacji między pierwszymi i najbardziej istotnymi zmiennymi kanonicznymi w obu zbiorach wynosi $R = 0,670$. Wynik testu chi-kwadrat: $\chi^2 = 27,05$; $df = 33$; $p = 0,758$.

Liczba ważnych przypadków = 32.

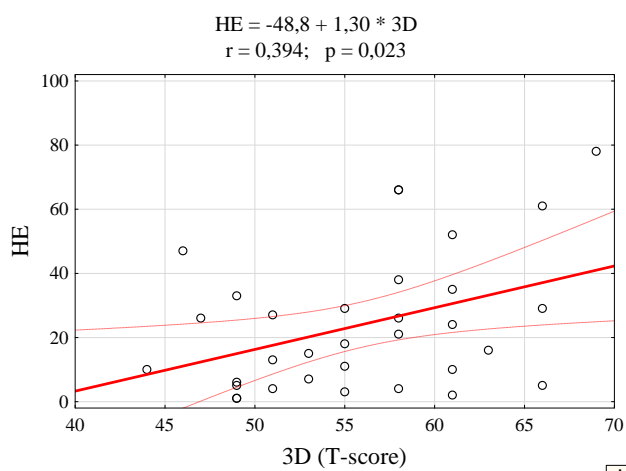
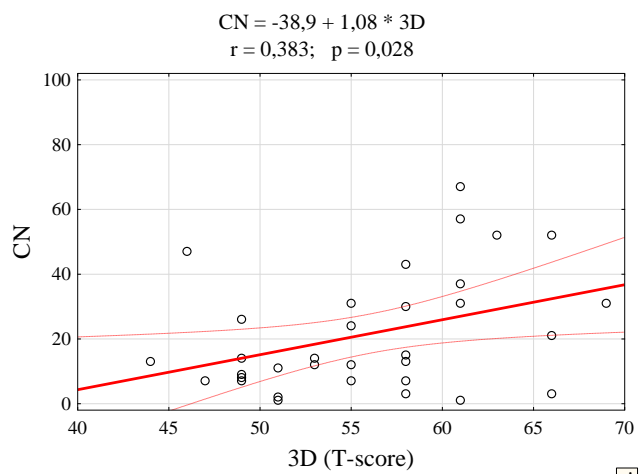
Tabela 20. Wyniki analizy kanonicznej

	n	Wariancja wyodrębniona	Całkowita redundancja przy danym drugim zbiorze
Lewy zbiór	3	100,0%	34,6%
Prawy zbiór	11	23,1%	7,6%

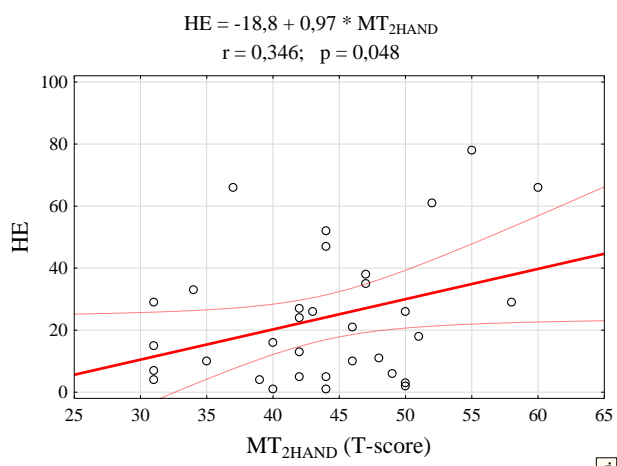
Wyniki korelacji między zbiorami zamieszczono w tabeli 21. Wyróżniają się istotne statystycznie, dodatnie korelacje pomiędzy wyobraźnią przestrzenną (3D) a nawigacją kamery (CN) wynosząca $r = 0,397$ i koordynacją ręka - oko (HE) wynosząca $r = 0,390$. Istotne statystycznie dodatnie korelacje występują również między MT_{2HAND} a HE ($r = 0,341$).

Tabela 21. Wyniki korelacji pomiędzy dwoma zbiorami danych.

Wyniki testów MLS, 2HAND i 3D (skala T-score)	Wyniki testu VTS (T1 - pierwszy test)		
	CN	HE	Bi
3D	0,397	0,390	0,298
MT_{2HAND}	0,223	0,341	-0,017
ME_{2HAND}	0,138	0,263	0,309
PE_{2HAND}	0,058	0,097	0,276
MC-CZ	-0,194	-0,184	-0,223
MT-B	-0,037	0,109	0,159
MT-B-CZ	-0,074	0,117	0,020
MS-B	-0,008	0,073	0,106
MS-B-CZ	0,020	0,085	-0,022
MS-CZ	-0,008	0,026	-0,136
TAP	0,001	-0,081	-0,123



Rysunek 26. Diagramy korelacyjne pomiędzy nawigacją kamery CN i koordynacją ręka-oko (HE) a wyob-rażnią przestrzenną (3D).



Rysunek 27. Diagram korelacyjny pomiędzy oceną koordynacji ręka-oko (HE) a średnim czasem przejścia trasy MT2HAND (T score).

Wzrostowi wyobraźni przestrzennej (3D) o 1 T-score towarzyszy wzrost oceny CN średnio o 1,08 pkt. i wzrost HE średnio o 1,30 pkt (ryc. 26). Wzrost oceny czasu przejścia trasy (MT_{2HAND}) ocenionej w skali T-score towarzyszy wzrost oceny koordynacji ręka-oko średnio o 0,97 pkt. (ryc. 27).

5. DYSKUSJA

Dynamiczny rozwój wskazań do zastosowania laparoskopowego dostępu chirurgicznego pociąga za sobą konieczność poszukiwania innowacyjnych metod szkoleniowych mogących skrócić czas nauki specyficznych umiejętności psychomotorycznych niezbędnych do bezpiecznego wykonywania tych zabiegów.

Niniejsza praca doktorska miała na celu zbadanie czy stymulacja niskonapięciowym prądem stałym w ramach treningu laparoskopowego jest niezależnym, istotnym czynnikiem wpływającym na specyficzne umiejętności laparoskopowe takie jak: nawigacja kamerą, koordynacja ręka - oko oraz koordynacja dwuręczna. Aby dokonać takiej obserwacji obiektywnie i wyeliminować potencjalne różnice pomiędzy uczestnikami w pierwszej kolejności oceniono ich wyjściowe umiejętności psychomotoryczne. W tym celu na początku zbadano ogólne zdolności motoryczne ręki dominującej i niedominującej w teście MLS, koordynację dwuręczną w teście 2HAND oraz zdolność wizualno-przestrzenną w teście 3D. Otrzymane wyniki pozwoliły zrealizować drugi cel pracy doktorskiej, czyli sprawdzić potencjalną zależność poziomu posiadanych umiejętności psychomotorycznych u osób bez doświadczenia laparoskopowego a wynikami uzyskiwanymi w czasie wykonywania specyficznych ćwiczeń laparoskopowych. Przedstawione wyniki niniejszej pracy doktorskiej stanowią ciekawy element w dyskusji dotyczącej nowych możliwości związanych z opracowaniem skutecznych modeli treningowych użytecznych w laparoskopii.

5.1 tDCS w poprawie funkcji motorycznych

Niniejsza praca doktorska według mojej wiedzy przedstawia po raz pierwszy dane naukowe opisujące wpływ stymulacji niskonapięciowym prądem kory ruchowej mózgowia na specyficzne umiejętności laparoskopowe określone jako nawigacja kamerą, koordynacja ręka-oko oraz koordynacja dwuręczna na modelu LASTT.

Wpływ tDCS na funkcje motoryczne opisali w 2017 roku autorzy Ciechański i wsp., którzy wykazali, że stymulacja niskonapięciowym prądem stałym wspomaga uczenie się prostych funkcji motorycznych u zdrowych dzieci. Do określenia bazowych umiejętności motorycznych użyli Purdue Pegboard Test (PPT), Jebsen-Taylor Test of Hand Function (JTT) oraz Serial Reaction Time Task (SRTT). Uczestników badania losowo przydzielono do jednej z czterech grup różniących się aplikacją tDCS. Wyróżniono następujące grupy: pozorowaną, stymulowaną anodowo na prawą (przeciwległą) półkulę wartością 1 mA, stymulowaną na lewą tożstronną

(ipsilateralną) półkulę 1 mA katodowo, oraz stymulowaną na lewej ipsilateralnej półkuli katodowo 2 mA. Wszyscy uczestnicy wykonali wymienione wyżej testy, a w kolejnym etapie zostali poddani treningowi PPT oraz stymulacji tDCS przez 3 kolejne dni. Wyniki wykazały, że stymulacja przeciwległej półkuli zarówno anodowa i katodowa oraz anodowa tożsamernej półkuli wykazują statystycznie istotny pozytywny efekt na uczenie się nowych zdolności motorycznych w porównaniu z grupą pozorowaną. Porównanie uczestników w zależności od natężenia tDCS wykazało wyższą skuteczność prądu 2 mA nad 1 mA. Nowo zdobyte umiejętności psychomotoryczne utrzymywały się na tym samym poziomie w kontrolnych pomiarach do końca sześciotygodniowej obserwacji [114].

Z kolei autorzy Reis i wsp. przeprowadzili analizę wpływu anodowej stymulacji tDCS przeciwległej półkuli prądem o natężeniu 1 mA na zdobywanie prostych umiejętności psychomotorycznych z wykorzystaniem testu Sequential Visual Isometric Pinch Task (SVIPT). Dwie grupy liczące każda po dwunastu uczestników zostały poddane pomiarowi wyjściowych umiejętności a następnie ocenie procesu uczenia przy użyciu SVIPT. Zadanie polegało na poruszaniu się kursorem w odpowiedniej kolejności pomiędzy strukturami geometrycznymi wyświetlanymi na ekranie monitora. Natomiast aby kontrolować ruch kursora na ekranie, badani ściskali kciukiem i palcem wskazującym dedykowany przetwornik siły. Stymulacja była dostarczana przez pięć kolejnych dni. Uzyskane wyniki w grupie stymulowanej tDCS były istotnie statystycznie lepsze w porównaniu z grupą kontrolną. W ponad trzy miesięcznej obserwacji uczestników po zakończeniu interwencji wykazano, że efekty uczenia po stymulacji utrzymały się na podobnym poziomie w odróżnieniu do grupy porównawczej, której umiejętności znacznie się obniżyły[115]. Powyższe publikacje potwierdzają istotnie statystyczne zwiększenie efektu uczenia się prostych umiejętności motorycznych przy zastosowaniu stymulacji tDCS.

Wpływ tDCS na bardziej specyficzne umiejętności z zakresu neurochirurgii opisał w swojej kolejnej pracy Ciechanski i wsp. W randomizowanym prospektywnym badaniu wykorzystał wirtualny aspirator ultradźwiękowy „NeuroTouch Neurosurgical Simulator” służący do resekcji zmian w obrębie mózgowia. Symulator procedury neurochirurgicznej był wyposażony w miernik mocy zapewniający w czasie rzeczywistym wizualną informację o wielkości dostarczonej siły wraz z sygnalizacją, gdy przekroczono zalecane wartości. Trening składał się z 8 powtórzeń tego samego zadania polegającego na usunięciu dominującą ręką trzech wirtualnych guzów umieszczonych w strukturach zdrowego mózgu w limicie czasu 3 minut. Przypdzielona losowo grupa podczas wykonywania zadania była dodatkowo stymulowana anodowo tDCS o natężeniu 1 mA. Podstawowymi wartościami poddanymi ocenie była objętość

usuniętego guza podczas wizyty początkowej oraz po treningu. Kolejnymi ocenianymi parametrami były: zmiana w objętości zdrowego mózgu, skuteczność resekcji definiowana jako stosunek zdrowej tkanki mózgowej do wyciętego guza, czasu użycia zbyt dużej siły w obrębie guza, czasu użycia nadmiernej siły w obrębie zdrowej tkanki oraz efektywność resekcji definiowanej jako stosunek siły, kiedy aspirator był w obrębie guza do objętości guza po resekcji. W przedstawionym badaniu wszyscy uczestnicy w miarę narastającej ilości powtórzeń zadania poprawiali swoje wyniki. Aczkolwiek jedynie wyniki grupy z dodatkową stymulacją tDCS uzyskały istotnie statystyczny wzrost umiejętności. Kolejną korzyścią stymulowanej grupy w porównaniu z grupą kontrolną było zmniejszenie czasu, w którym dochodziło do przekroczenia zalecanej siły [116]. Pomimo, że praca Ciechanskiego i wsp. opisuje wpływ stymulacji tDCS na specyficzne umiejętności neurochirurgiczne badanie to wpisuje się w trend wiążący autorów, którzy oceniają jedynie jednoręczne umiejętności motoryczne [116][117].

Odmienne od wyników opisujących umiejętności jednoręczne w pracy Ciechańskiego i wsp. w przedstawionych wynikach niniejszego badania dodatkowa stymulacja tDCS nie była niezależnym czynnikiem poprawiającym poziom umiejętności w ramach ćwiczenia na koordynację ręki dominującej - HE. Możliwe, że przyczyną otrzymania takiego wyniku było zastosowanie w prezentowanym badaniu odmiennego protokołu stymulacji tDCS niż w pracy Ciechańskiego. W protokole tego badania naukowego stymulacja anodowa dotyczyła dominującej półkuli z jednoczasowym katodowym hamowaniem drugiej półkuli w punktach C3 i C4. W pracy Ciechańskiego stymulacja anodowa była umieszczona tak samo jednak katodowa zlokalizowana była nad kontrlateralnym obszarem nadoczodołowym.

Zastosowany model stymulacji tDCS został zaadoptowany po analizie wyników pracy autorstwa Vines i wsp., które wykazały korzystny wpływ na funkcje motoryczne stymulacji anodowej jednej półkuli z jednoczasowym katodowym hamowaniem drugiej półkuli. Cechą charakterystyczną takiego modelu tDCS jest zmniejszenie nadmiernej reaktywności w dominującej korze ruchowej, która przeszkadza w poprawie neuromodulacji w korze niedominującej [106]. W odróżnieniu od wyżej wymienionych publikacji niniejsza rozprawa doktorska poddaje analizie wpływ stymulacji tDCS na specyficzne umiejętności laparoskopowe, obejmujące również zadania oburęczne w ćwiczeniu *Bimanual coordination*.

Wyniki przedstawione w niniejszej pracy doktorskiej wykazują, że stymulacja tDCS jest niezależnym czynnikiem poprawiającym istotnie statystycznie wyniki w ćwiczeniu na koordynację dwuręczną (Bi_{T4}). Dodatkowe przeprowadzenie analizy regresji wielorakiej, oprócz potwierdzenia dodatniego wpływu stymulacji na koordynację dwuręczną pozwoliło wyodrębnić dwa kolejne czynniki wpływające na finalne wyniki koordynacji dwuręcznej tj. płeć męska oraz

wynik koordynacji ręka-oko w pierwszym dniu badania. Wyniki wskazujące na lepsze efekty uczenia się mężczyzn w ćwiczeniach na koordynację dwuręczną są sprzeczne z obserwacjami Hsin-Yi Chiu i wsp. gdzie to właśnie kobiety uzyskiwały lepsze wyniki podczas ćwiczenia w wirtualnej rzeczywistości sprawdzającym koordynację dwuręczną [118]. Przeanalizowana grupa 19 kobiet i 39 mężczyzn pod kątem umiejętności szycia laparoskopowego nie uwzględniła jednak wyjściowej oceny zdolności psychomotorycznych co mogło wpłynąć na uzyskane przed badaczy wyniki. Porównanie tych wyników stanowi interesującą obserwację i zachęca do dalszych badań odpowiadając na pytanie czy i jakie podejścia szkoleniowe w laparoskopii są zależne od płci.

5.2 Ocena funkcji psychomotorycznych a trening laparoskopowy

Zdefiniowane przez Molinas i wsp. specyficzne laparoskopowe zdolności psychomotoryczne takie jak widzenie przestrzenne, koordynacja ręka - oko i koordynacja dwuręczna są przedmiotem wielu badań, gdyż rozwijane są również w innych dziedzinach naszego codziennego życia [21]–[23], [45] Sytuacja związana z codziennością powoduje, że uczestnicy badań mogą znacznie różnić się pod względem kompetencji wyjściowych ze względu na różnice w indywidualnych doświadczeniach, co utrudnia obiektywną ocenę postępów w treningu laparoskopowym. Według mojej wiedzy w niniejszej rozprawie doktorskiej po raz pierwszy zastosowano ocenę umiejętności psychomotorycznych z użyciem baterii standaryzowanych testów wiedeńskich VTS w odniesieniu do umiejętności laparoskopowych.

Analizując wyniki Campo i wsp. oceniające naukę wyżej wymienionych specyficznych dla laparoskopii zdolności psychomotorycznych założono, że liczba wykonanych zabiegów laparoskopowych jest ściśle skorelowana z poziomem wyjściowych zdolności psychomotorycznych [113]. Na tej podstawie autorzy badania zaszeregowali uczestników do grupy G1 - bez ekspozycji na laparoskopię lub niewielką, G2 - umiarkowana ekspozycja na laparoskopię, G3 - zaawansowana ekspozycja na laparoskopię. Jednakże ilość wykonanych zabiegów nie zawsze przekłada się na ich jakość i umiejętności chirurga. Zastosowanie tylko ankietowej oceny ilości procedur bez obiektywnej oceny parametrów psychomotorycznych na początku badania sprawia, że podział uczestników na podgrupy jest mało precyzyjny i może wpływać na ostateczne wyniki, co może tłumaczyć rezultaty uzyskane przez Campo i wsp. Według badaczy w przypadku nawigacji kamerą grupa G3 uzyskiwała istotnie statystycznie więcej punktów niż grupa G1 i G2, ale różnice pomiędzy wynikami grup G1 i G2 nie wykazały już istotności statystycznej. Przedstawione w niniejszej pracy doktorskiej wyniki wskazują, że płeć męska jest

istotną determinantą wpływającą na proces uczenia się nawigacji kamerą CN i powinna być uwzględniana podczas oceny tego parametru w przyszłych badaniach.

Kolejny parametr jaki powinien być brany pod uwagę w ocenie umiejętności laparoskopowych na modelu LASTT to ocena umiejętności celowania dla ręki dominującej i niedominującej. W przedstawionych wynikach niniejszej pracy doktorskiej zarówno w grupie A jak i B zaobserwowano istotną statystycznie różnicę między wynikami parametru MC-CZ (celowanie, czas w skali T-score) ręki dominującej i niedominującej. W przypadku ćwiczeń na koordynację dwuręczną brak sprawdzenia tego parametru w obiektywny sposób może wpływać na nieświadomość badacza o istniejących różnicach pomiędzy grupami i prowadzić do nieprawdziwych konkluzji.

Przedstawione w obecnym badaniu dane pozwoliły wyodrębnić istotną statystycznie pozytywną zależność pomiędzy wynikami uczestników w teście oceniającym zdolności do widzenia przestrzennego 3D a wynikami uzyskanymi w ćwiczeniach na nawigację kamerą - CN oraz koordynację ręka-oko - HE. Wyniki te są zbieżne z obserwacjami Takashige i wsp., które wykazały istotnie statystyczną pozytywną korelację pomiędzy uczestnikami badania z wyższymi wynikami testu MRT (ang. *Mental Rotation Test*) oceniającym zdolność do widzenia przestrzennego a wynikami uzyskanymi podczas wykonywania ćwiczenia szycia laparoskopowego (ang. *Suture Sponge*) [119]. Zastosowanie testu 3D mogłoby pomóc bardziej obiektywnie podzielić grupy uczestników badania Campo i wsp., gdyż zastosowane przez badaczy kryteria oceny ankietowej nie są precyzyjne i mogą tłumaczyć uzyskane wyniki w badaniu na koordynację ręka oko grupy G2 i G3, które nie różniły się statystycznie, ale obie grupy były istotnie statystycznie lepsze niż grupa G1[113].

Niniejsze obserwacje potwierdzają znaczenie umiejętności do widzenia przestrzennego przy wykonywaniu laparoskopii. Test 3D z baterii testów VTS może w przyszłości posłużyć do utworzenia jednolitego testu kompetencji laparoskopowych (na przykład dla rezydentów specjalizacji zabiegowych).

Kolejnym ważnym aspektem analizy psychomotorycznej w wykonywaniu zabiegów laparoskopowych jest umiejętność koordynacji ręka - oko, co potwierdza między innymi badanie przeprowadzone wśród amerykańskich ginekologów autorstwa Weizman i wsp. Uczestnicy badania podali, że jednym z istotnych ograniczeń stanowiących przeszkodę w wykonywaniu zabiegów laparoskopowych jest niewystarczająca umiejętność koordynacji ręki z ośrodkiem wzroku [120].

Zastosowany w niniejszej pracy doktorskiej test 2HAND badający zarówno koordynację ręka-oko, koordynację dwuręczną oraz precyzję ruchu, pozwolił wykazać, że średni czas pokonania

tego testu istotnie statystycznie pozytywnie koreluje z wynikami uzyskiwanymi przez uczestników w ćwiczeniu na koordynację ręki i wzroku - HE. Z uwagi na szeroki zakres umiejętności psychomotorycznych ocenianych w 2HAND został on zastosowany między innymi w testach kompetencji dla kadetów lotnictwa [121]. Przedstawione wyniki oraz fakt zastosowania pierwszy raz w niniejszej rozprawie doktorskiej testu 2HAND do oceny specyficznych laparoskopowych umiejętności psychomotorycznych stanowi ciekawą obserwację oraz daje podstawy do włączenia tego narzędzia do stworzenia jednolitego testu kompetencji dla przyszłych chirurgów laparoskopowych.

5.3 Ewolucja treningu laparoskopowego

Od pierwszego laparoskopowego usunięcia macicy minęło już ponad 30 lat [122], a operacje endoskopowe na stałe zakorzeniły się we wszystkich specjalnościach chirurgicznych. Coraz to większa złożoność współczesnego armamentarium chirurgicznego zwiększa wymagania również związane z edukacją.

Palter i wsp. w prospektywnej randomizowanej pracy, wykazali statystycznie istotną przewagę usystematyzowanego szkolenia rezydentów w porównaniu z klasycznym modelem szkolenia na przykładzie laparoskopowego usunięcia pęcherzyka żółciowego [123]. Zaproponowany przez autorów nowy schemat obejmował: szkolenie teoretyczne, naukę kolejnych etapów procedury podczas jednogodzinnej sesji z doświadczonym chirurgiem, trening w ramach wirtualnej rzeczywistości (dwie sesje tygodniowo po 120 min), treningu na trenażerze laparoskopowym, oraz obserwacji lub asystowaniu przy pięciu takich zabiegach laparoskopowych. Końcowym etapem badania było porównanie umiejętności laparoskopowych podczas samodzielnie wykonywanych zabiegów usunięcia pęcherzyka żółciowego. Do oceny umiejętności laparoskopowych zastosowano pięciostopniową skalę *Global Rating Scale of Operative Performance*, w której analizowano następujące parametry: respektowanie tkanek (ang. *Respect for Tissue*), czas i precyzja ruchów (ang. *Time and Motion*), posługiwanie się narzędziami (ang. *Instrument Handling*), znajomość narzędzi (ang. *Knowledge of Instruments*), płynność operacji (ang. *Flow of Operation*), pomoc asystenta (ang. *Use of Assistants*) oraz znajomość procedury (ang. *Knowledge of Specific Procedure*). W przedstawionych wynikach rezydenci poddani nowej formie szkolenia statystycznie lepiej radzili sobie podczas zabiegów począwszy od pierwszego aż do czwartego zabiegu włącznie. Oceny umiejętności rezydentów w piątym zabiegu zrównały się, niemniej jednak obserwacje te jasno wskazują o korzystnym wpływie ustrukturyzowanego treningu na umiejętności laparoskopowe. Możliwość przeniesienia procesu

uczenia do środowiska w wirtualnej rzeczywistości i тренаżera laparoskopowego poza salę operacyjną dodatkowo zmniejsza ryzyko potencjalnych powikłań podczas rzeczywistych zabiegów wykonywanych przez niewystarczająco wyszkolonych początkujących rezydentów.

Kolejne wielośrodkowe prospektywne randomizowane badanie autorstwa Gala i wsp. polegające na porównaniu dwóch modeli uczenia się : klasycznego oraz szkolenia z regularnymi sesjami w laboratorium symulacji laparoskopowej wśród rezydentów położnictwa i ginekologii [124]. W początkowym etapie oceniono wyjściowe parametry uczestników sprawdzając ich wiedzę dotyczącą laparoskopii oraz umiejętności praktyczne, które były ocenione przy użyciu pięciu ćwiczeń laparoskopowych takich jak : przenoszenie kołków (ang. *Peg Transfer*), wycinanie wzoru (ang. *Pattern Cut*), pętla endoskopowa (ang. *Endoloop*), szycie pozaustrojowe (ang. *Extracorporeal Suturing*), szycie wewnątrzustrojowe (ang. *Intracorporeal Suturing*), a następnie rezydenci wykonali zabieg obustronnego podwiązania jajowodów techniką Pomeroy'a z oceną *Global Rating Scale of Operative Performance*. Po zakończeniu rotacji na oddziale ginekologicznym obie grupy rezydentów poprawiły swoje kompetencje w zakresie ćwiczeń laparoskopowych jak również umiejętności podczas wykonywania zabiegu podwiązania jajowodów. Jednak wyniki rezydentów, którzy wykonywali dodatkowe ćwiczenia laparoskopowe były istotnie statystycznie lepsze w każdym z ocenianych parametrów.

Molinas i wsp. wykazał zależności pomiędzy krzywymi uczenia stosując odmienne schematy nauczania podstawowych umiejętności laparoskopowych jak koordynacja ręka-oko oraz dla bardziej zaawansowanej czynności jaką jest wykonanie węzła chirurgicznego metodą laparoskopową [125]. Pierwsza grupa wykonywała ćwiczenia na koordynację ręki i wzroku dla ręki dominującej i niedominującej, druga grupa wykonała to ćwiczenie tylko dla ręki dominującej, a trzecia grupa nie wykonywała tego zadania. Grupy nie różniły się wynikami na początku badania. Pierwsza i druga grupa poprawiły swoje wyniki w miarę zwiększającej się ilości powtórzeń dla ćwiczenia koordynacyjnego ręka-oko oraz trening ten przełożył się na lepsze wyjściowe wyniki w wiązaniu laparoskopowym nici. W kolejnym etapie uczestnicy wykonali sześćdziesiąt powtórzeń zaawansowanego ćwiczenia laparoskopowego. W ostatecznej ocenie wszystkie grupy zrównały się poziomem w laparoskopowym wiązaniu nici. Dodatkowy trening wiązania nici nie przyniósł żadnej korzyści w finalnych wynikach ćwiczenia na koordynację ręka-oko w pierwszych dwóch grupach. Natomiast ginekolożki grupy trzeciej, którzy wykonywali tylko ćwiczenia wiązania nici polepszyli swoje wyniki w ćwiczeniu koordynacyjnym, ale były one gorsze od wyników uczestników z pierwszych dwóch grup wykonujących oba ćwiczenia. Badanie to potwierdza nie tylko, że odpowiedni trening poprawia umiejętności laparoskopowe i wskazuje, że do osiągnięcia wprawy potrzeba wielu powtórzeń, ale również, że

wykonywanie tylko bardziej zaawansowanych ćwiczeń na koordynację dwuręczną jakim jest szycie laparoskopowe, poprawia zarówno złożone umiejętności psychomotoryczne jak również te bardziej podstawowe.

Burden i wsp. w swojej publikacji wykazali, że samo zakupienie trenażera laparoskopowego do szkolącej jednostki bez odpowiedniego nadzoru nad szkoleniem może nie być wystarczające, gdyż pomimo początkowego optymizmu i zaangażowania ze strony ćwiczących ponad dwie trzecie uczestników nie ukończy całego modułu treningowego. Jest to doskonały przykład na to, że aby odpowiednio wyszkolić biegłego w technikach małoinwazyjnych potrzebny jest nadzór oraz ściśle określone limity czasowe etapów szkolenia [126].

Mając na uwadze wiedzę, że wykonywanie zabiegów laparoskopowych bez wcześniejszego zdobycia odpowiednich umiejętności w warunkach trenażerów laparoskopowych lub wirtualnej rzeczywistości zwiększa ilość powikłań śród i okołoperacyjnych, środowiska naukowe, Europejska Rada Ginekologii Endoskopowej (ESGE, ang. European Society for Gynaecological Endoscopy), Europejska Rada i Kolegium Położnictwa i Ginekologii (EBCOG, ang. European board & College of Obstetrics and Gynaecology) Europejska Akademia Chirurgii Ginekologicznej (EAGS, ang. European Academy of Gynaecological Surgery) Europejska Sieć Rezydentów w Położnictwie i Ginekologii (ENTOG, ang. European Network of Trainees in Obstetrics and Gynaecology) Amerykańskie Kolegium Położników i Ginekologów (ACOG, ang. American College of Obstetricians and Gynecologists) Amerykańskie Stowarzyszenie Ginekologów Laparoskopowych (AAGL, ang. American Association of Gynecologic Laparoscopists) czując ogromną odpowiedzialność za system szkolenia w ginekologii endoskopowej wspólnie wydały w 2014 roku rekomendacje z dwoma głównymi zaleceniami:

1. Każdy szpital, w którym odbywa się szkolenie z zakresu chirurgii małoinwazyjnej powinien mieć dostęp do pracowni symulacji endoskopowej w celu podnoszenia kwalifikacji swoich pracowników.

2. Badania naukowe potwierdzają, że odpowiedni trening na trenażerach laparoskopowych zmniejsza ilość powikłań na sali operacyjnej, dlatego interdyscyplinarny program treningowy z odpowiednimi elementami oceny umiejętności powinien być wprowadzony.

Zaproponowany przez Campo i wsp. w 2008 roku model nauki technik laparoskopowych odchodzący od klasycznego wzorca uczeń - nauczyciel i przesunięcie części edukacji w środowisko poza salę operacyjną na trenażery laparoskopowe wyodrębnił trzy podstawowe

umiejętności niezbędne do prawidłowego wykonywania zabiegów laparoskopowych takich jak nawigacja kamera endoskopową, koordynacja ręka-oko i koordynacja dwuręczna[21].

Po przeanalizowaniu publikacji Molinas i wsp. wiemy, że do osiągnięcia perfekcji w laparoskopii potrzebny jest odpowiedni czas. Z kolei Burden i wsp. podkreśla istotność nadzoru nad szkolącymi, a z analiz Campo i wsp. wnioskujemy jak ważne jest wprowadzenie odpowiedniego systemu oceny. Wszystkie te aspekty sprawiają, że wyszkolenie rezydenta w zakresie chirurgii małoinwazyjnej jest skomplikowanym i czasochłonnym procesem. Dodatkowym utrudnieniem w procesie uczenia mogą być wprowadzane ograniczenia czasu pracy dla rezydentów przez instytucji nadzorujących szkolenie podyplomowe takie jak Rada Akredytacyjna Absolwentów Kształcenia Medycznego (ACGME, ang. Accreditation Council for Graduate Medical Education). Wprowadzane limity czasu pracy mogą dodatkowo wpływać na zmniejszenie szans do uczestniczenia w zabiegach operacyjnych, a tym samym osiągnięcia odpowiedniego wyszkolenia zawodowego[127]–[129]. Jamal i wsp. w swojej metaanalizie prac podglądowych pokazują brak korzyści z ograniczeń czasowych pracy rezydentów w poprawie bezpieczeństwa operacji lub zachorowalności i śmiertelności pacjentów poddawanych zabiegom chirurgicznym [130].

Biorąc pod uwagę wyżej wymienione aspekty, jednym z ważniejszych założeń niniejszej pracy doktorskiej była ocena połączenia stymulacji tDCS z treningiem laparoskopowym, ponieważ każde innowacyjne w treningu laparoskopowego może stać się cennym narzędziem wpływającym na zwiększenie wsparcia dla rezydentów w osiągnięciu odpowiedniego poziom wyszkolenia laparoskopowego w krótszym czasie.

W konsekwencji dostrzegam potrzebę ustrukturyzowanej koncepcji edukacyjnej, która powinna stanowić odpowiedź na problem nadmiernie długich krzywych uczenia się na sali operacyjnej, ograniczonej dostępności teoretycznych i praktycznych programów nauczania endoskopowego oraz braku uniwersalnego akceptowanego i obiektywnego systemu nadzoru. Klasyczny model mistrz-uczeń był przydatny przez wiele lat, ale złożoność współczesnej technologii chirurgicznej wymaga znacznie więcej.

6. BEZPIECZEŃSTWO I TOLERANCJA

Bezpieczeństwo stosowania tDCS zostało potwierdzone w wielu badaniach oraz posiada opinię amerykańskiej Agencji Żywności i Leków, FDA (ang. *Food and Drug Administration*) jako metodę o nieistotnym ryzyku dla pacjenta [91]. Podczas przeprowadzonego badania klinicznego nie było żadnych zdarzeń niepożądanych. Interwencje były dobrze tolerowane przez wszystkich uczestników badania, przez cały cykl stymulacji.

7. WNIOSKI

Na podstawie przedstawionych wyników niniejszej pracy doktorskiej wysunięto następujące wnioski główne:

1. Przechaszkowa stymulacja niskonapięciowym prądem stałym jest niezależnym, istotnym czynnikiem poprawiającym efekt uczenia się specyficznej umiejętności laparoskopowej w przypadku koordynacji dwuręcznej – Bi (*bimanual coordination*) w ramach treningu laparoskopowego.
2. Przechaszkowa stymulacja niskonapięciowym prądem stałym nie jest niezależnym, istotnym czynnikiem wpływającym na efekt uczenia się specyficznych umiejętności laparoskopowych w przypadku nawigacji kamerą – CN (*camera navigation*) oraz koordynacji ręka-oko - HE (*hands-eyes coordination*).
3. Poziom nabytej umiejętności do widzenia przestrzennego ocenionej w teście 3D z baterii testów VTS (*Vienna Test System*) jest niezależnym, istotnym czynnikiem determinującym ostateczne wyniki uzyskiwane w ramach treningu laparoskopowego przy posługiwaniu się kamerą laparoskopową – CN (*camera navigation*) oraz ćwiczeń na koordynację ręka-oko – HE (*hands-eyes coordination*)
4. Poziom nabytej umiejętności do widzenia przestrzennego ocenionej w teście 3D z baterii testów VTS (*Vienna Test System*) pozytywnie koreluje z rezultatami uzyskanymi w pierwszym dniu badania w ramach ćwiczenia na nawigację kamerą CN (*camera navigation*) oraz koordynację ręka–oko - HE (*hands-eyes coordination*).
5. Poziom nabytej umiejętności do koordynacji dwuręcznej ocenionej w teście 2HAND z baterii testów VTS (*Vienna Test System*) pozytywnie koreluje z rezultatami uzyskanymi w pierwszym dniu badania w ramach ćwiczenia na koordynację ręka–oko - HE (*hands-eyes coordination*).

Przeprowadzone badanie i analizy statystyczne pozwoliły dodatkowo sformułować jeden wniosek dodatkowy:

6. Płeć męska jest niezależnym czynnikiem determinującym uzyskanie lepszych ostatecznych wyników w ćwiczeniach na koordynację dwuręczną – Bi (*bimanual coordination*) oraz nawigację kamerą – CN (*camera navigation*) w ramach treningu laparoskopowego.

Powyższe wnioski przedstawiające innowacyjne rozwiązania dla treningu laparoskopowego stanowią potencjalny kierunek do dalszych badań obejmujących większą grupę badawczą.

8. IMPLIKACJE PRAKTYCZNE

Przedstawione w niniejszej pracy doktorskiej wyniki i analizy mają potencjalne implikacje praktyczne.

Zastosowanie testów 2HAND oraz 3D pozwalają obiektywnie ocenić wyjściowe zdolności psychomotoryczne potrzebne do wykonywania laparoskopii. Mogą one stanowić bazę w stworzeniu testu kompetencji dla specjalności zabiegowych, który mógłby pomóc studentom w wyborze docelowej specjalizacji.

Przy wykonywaniu rzeczywistych zabiegów laparoskopowych chirurg operator pracuje głównie dwoma narzędziami jednocześnie, dlatego koordynacja dwuręczna wydaje się być najistotniejszą umiejętnością z przedstawionych trzech podstawowych umiejętności laparoskopowych. Biorąc pod uwagę, że stymulacja niskonapięciowym prądem jest niezależnym, istotnym czynnikiem poprawiającym koordynację dwuręczną w ramach treningu laparoskopowego, może być stosowana jako narzędzie wspomagające proces uczenia laparoskopii.

9. PIŚMIENICTWO

- [1] M. Hatzinger, A. Häcker, S. Langbein, S. Kwon, J. Hoang-Böhm, and P. Alken, "Hans-Christian Jacobaeus (1879-1937): The inventor of human laparoscopy and thoracoscopy," *Urologe. A*, 2006.
- [2] S. Uccella *et al.*, "Laparoscopic Versus Open Hysterectomy for Benign Disease in Uteri Weighing >1 kg: A Retrospective Analysis on 258 Patients," *J. Minim. Invasive Gynecol.*, 2018.
- [3] J. L. Walker *et al.*, "Laparoscopy compared with laparotomy for comprehensive surgical staging of uterine cancer: Gynecologic Oncology Group Study LAP2," *J. Clin. Oncol.*, 2009.
- [4] P. Lepka, M. Jedryka, M. Misiek, and R. Matkowski, "Hysterectomy in Poland between 2011 and 2016. Changing trends in the surgical approach to hysterectomy," *Ginekol. Pol.*, 2018.
- [5] M. Loring, S. N. Morris, and K. B. Isaacson, "Minimally invasive specialists and rates of laparoscopic hysterectomy," *J. Soc. Laparoendosc. Surg.*, 2015.
- [6] J. Thepsuwan, K. G. Huang, M. Wilamarta, A. S. Adlan, V. Manvelyan, and C. L. Lee, "Principles of safe abdominal entry in laparoscopic gynecologic surgery," *Gynecology and Minimally Invasive Therapy*. 2013.
- [7] M. Catarci, M. Carlini, and P. Gentileschi, "Major and minor injuries during the creation of pneumoperitoneum. A multicenter study on 12,919 cases," *Surg. Endosc.*, 2001.
- [8] I. Ertugrul, C. Kayaalp, M. A. Yagci, F. Sumer, S. Karagul, and K. Tolan, "Comparison of Direct Trocar Entry and Veress Needle Entry in Laparoscopic Bariatric Surgery: Randomized Controlled Trial," *J. Laparoendosc. Adv. Surg. Tech.*, 2015.
- [9] L. Borgatta, L. Gruss, D. Barad, and S. G. Kaali, "Direct trocar insertion vs. Verres needle use for laparoscopic sterilization," *J. Reprod. Med. Obstet. Gynecol.*, 1990.
- [10] I. Szabó and Á. László, "Veres needle: In memoriam of the 100th birthday anniversary of Dr János Veres, the inventor," *Am. J. Obstet. Gynecol.*, 2004.
- [11] J. B. Long, D. L. Giles, J. L. Cornella, P. M. Magtibay, R. M. C. Kho, and J. F. Magrina, "Open laparoscopic access technique: Review of 2010 patients," *J. Soc.*

- Laparoendosc. Surg.*, 2008.
- [12] H. M. Hasson, "A modified instrument and method for laparoscopy," *Am. J. Obstet. Gynecol.*, 1971.
- [13] G. A. Vilos *et al.*, "Laparoscopic Entry: A Review of Techniques, Technologies, And Complications," *J. Obstet. Gynaecol. Canada*, 2007.
- [14] H. M. Hasson, C. Rotman, N. Rana, and N. A. Kumari, "Open laparoscopy: 29-year experience," *Obstet. Gynecol.*, 2000.
- [15] L. Mencaglia, *Manual of Gynecological Laparoscopic Surgery IInd Edition*. 2008.
- [16] A. String, E. Berber, A. Foroutani, J. R. Macho, J. M. Pearl, and A. E. Siperstein, "Use of the optical access trocar for safe and rapid entry in various laparoscopic procedures," *Surg. Endosc.*, 2001.
- [17] T. Vajsbaher, H. Schultheis, and N. K. Francis, "Spatial cognition in minimally invasive surgery: A systematic review," *BMC Surg.*, 2018.
- [18] C. Ames, A. J. Frisella, Y. Yan, P. Shulam, and J. Landman, "Evaluation of laparoscopic performance with alteration in angle of vision," *J. Endourol.*, 2006.
- [19] A. Bennett, D. W. Birch, C. Menzes, A. Vizhul, and S. Karmali, "Assessment of medical student laparoscopic camera skills and the impact of formal camera training," *Am. J. Surg.*, 2011.
- [20] F. Huettl *et al.*, "Rating of camera navigation skills in colorectal surgery," *Int. J. Colorectal Dis.*, 2020.
- [21] C. R. Molinas, G. De Win, O. Ritter, J. Keckstein, M. Miserez, and R. Campo, "Feasibility and construct validity of a novel laparoscopic skills testing and training model," *Gynecol. Surg.*, 2008.
- [22] D. B. and A. Atri, *Dementia: Comprehensive Principles and Practices*. 2014.
- [23] M. Keehner, Y. Lippa, D. R. Montello, F. Tendick, and M. Hegarty, "Learning a spatial skill for surgery: How the contributions of abilities change with practice," *Appl. Cogn. Psychol.*, 2006.
- [24] C. E. S. and L. L. Thurstone, "Primary Mental Abilities," *Math. Gaz.*, 1938.
- [25] D. F. Lohman, "Spatial Ability and G," in *Human abilities: Their nature and assessment*, 1996.
- [26] D. F. Lohman, "Spatial ability as traits, processes and knowledge.," in *Advances in the psychology of human intelligence, Vol.4*, 1988.
- [27] J. L. Horn and J. J. McArdle, "Understanding human intelligence since spearman," in *Factor Analysis at 100: Historical Developments and Future Directions*, 2012.

- [28] R. H. Wheeler and C. Spearman, "The Nature of 'Intelligence' and the Principles of Cognition.," *J. Philos.*, 1924.
- [29] A. R. Jensen, "The g factor: Psychometrics and biology," *Novartis Found. Symp.*, 2000.
- [30] H. L. J. Van Der Maas, C. V. Dolan, R. P. P. P. Grasman, J. M. Wicherts, H. M. Huizenga, and M. E. J. Raijmakers, "A dynamical model of general intelligence: The positive manifold of intelligence by mutualism," *Psychol. Rev.*, 2006.
- [31] R. Colom, R. E. Jung, and R. J. Haier, "Distributed brain sites for the g-factor of intelligence," *Neuroimage*, 2006.
- [32] A. Baddeley, "Working Memory: Theories, Models, and Controversies," *Annu. Rev. Psychol.*, 2012.
- [33] B. Koopmann-Holm and A. J. O'Connor, *Working memory*. 2017.
- [34] A. D. Baddeley and R. H. Logie, "Working Memory: The Multiple-Component Model," in *Models of Working Memory*, Cambridge University Press, 1999, pp. 28–61.
- [35] N. Cowan, "The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity," *Behav. Brain Sci.*, 2001.
- [36] S. J. Luck and E. K. Vogel, "The capacity of visual working memory for features and conjunctions," *Nature*, 1997.
- [37] K. C. Klauer and Z. Zhao, "Double dissociations in visual and spatial short-term memory," *J. Exp. Psychol. Gen.*, 2004.
- [38] R. H. Logie, "The Seven Ages of Working Memory," in *Working Memory and Human Cognition*, 2012.
- [39] A. Baddeley, "The fractionation of working memory," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 1996.
- [40] P. S. Goldman-Rakic, "Circuitry of the frontal association cortex and its relevance to dementia," *Arch. Gerontol. Geriatr.*, 1987.
- [41] E. K. Miller, C. A. Erickson, and R. Desimone, "Neural mechanisms of visual working memory in prefrontal cortex of the macaque," *J. Neurosci.*, 1996.
- [42] T. S. Braver, J. D. Cohen, L. E. Nystrom, J. Jonides, E. E. Smith, and D. C. Noll, "A parametric study of prefrontal cortex involvement in human working memory," *Neuroimage*, 1997.
- [43] S. Carlson, "Distribution of cortical activation during visuospatial n-back tasks as revealed by functional magnetic resonance imaging," *Cereb. Cortex*, 1998.
- [44] B. Rypma and M. D'Esposito, "The roles of prefrontal brain regions in components of

- working memory: Effects of memory load and individual differences,” *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 1999.
- [45] J. D. Crawford, D. Y. P. Henriques, W. P. Medendorp, and A. Z. Khan, “Ocular kinematics and eye-hand coordination,” in *Strabismus*, 2003.
- [46] M. F. Land, “Vision, eye movements, and natural behavior,” *Vis. Neurosci.*, 2009.
- [47] M. Hayhoe and D. Ballard, “Eye movements in natural behavior,” *Trends in Cognitive Sciences*. 2005.
- [48] G. Haegerstrom-Portnoy, M. E. Schneck, and J. A. Brabyn, “Seeing into old age: Vision function beyond acuity,” *Optom. Vis. Sci.*, 1999.
- [49] C. Owsley, “Aging and vision,” *Vision Research*. 2011.
- [50] R. D. Seidler *et al.*, “Motor control and aging: Links to age-related brain structural, functional, and biochemical effects,” *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 2010.
- [51] C. Prablanc, J. F. Echallier, E. Komilis, and M. Jeannerod, “Optimal response of eye and hand motor systems in pointing at a visual target,” *Biol. Cybern.*, 1979.
- [52] H. Liesker, E. Brenner, and J. B. J. Smeets, “Combining eye and hand in search is suboptimal,” *Exp. Brain Res.*, 2009.
- [53] M. C. Bowman, R. S. Johansson, and J. R. Flanagan, “Eye-hand coordination in a sequential target contact task,” *Exp. Brain Res.*, 2009.
- [54] R. Coen-Cagli, P. Coraggio, P. Napoletano, O. Schwartz, M. Ferraro, and G. Boccignone, “Visuomotor characterization of eye movements in a drawing task,” *Vision Res.*, 2009.
- [55] S. Lazzari, D. Mottet, and J. L. Vercher, “Eye-hand coordination in rhythmical pointing,” *J. Mot. Behav.*, 2009.
- [56] E. D. Graham and C. L. MacKenzie, “Physical versus virtual pointing,” in *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, 1996.
- [57] J. M. Fine and E. L. Amazeen, “Interpersonal Fitts’ law: When two perform as one,” *Exp. Brain Res.*, 2011.
- [58] S. Riek, J. R. Tresilian, M. Mon-Williams, V. L. Coppard, and R. G. Carson, “Bimanual aiming and overt attention: One law for two hands,” *Exp. Brain Res.*, 2003.
- [59] J. A. S. Kelso, D. L. Southard, and D. Goodman, “On the nature of human interlimb coordination,” *Science (80-.)*, 1979.
- [60] J. A. S. Kelso and G. Schöner, “Self-organization of coordinative movement patterns,” *Hum. Mov. Sci.*, 1988.
- [61] B. Steenbergen, W. Hulstijn, A. De Vries, and M. Berger, “Bimanual movement

- coordination in spastic hemiparesis,” *Exp. Brain Res.*, 1996.
- [62] D. Corbetta and E. Thelen, “The Developmental Origins of Bimanual Coordination: A Dynamic Perspective,” *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.*, 1996.
- [63] J. S. Kelso, D. L. Southard, and D. Goodman, “On the coordination of two-handed movements,” *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.*, 1979.
- [64] S. P. Swinnen and N. Wenderoth, “Two hands, one brain: Cognitive neuroscience of bimanual skill,” *Trends in Cognitive Sciences*. 2004.
- [65] C. Grefkes, S. B. Eickhoff, D. A. Nowak, M. Dafotakis, and G. R. Fink, “Dynamic intra- and interhemispheric interactions during unilateral and bilateral hand movements assessed with fMRI and DCM,” *Neuroimage*, 2008.
- [66] U. Halsband and R. K. Lange, “Motor learning in man: A review of functional and clinical studies,” *J. Physiol. Paris*, 2006.
- [67] R. M. Hardwick, C. Rottschy, R. C. Miall, and S. B. Eickhoff, “A quantitative meta-analysis and review of motor learning in the human brain,” *Neuroimage*, 2013.
- [68] T. Brashers-Krug, R. Shadmehr, and E. Bizzi, “Consolidation in human motor memory,” *Nature*, 1996.
- [69] J. Doyon and H. Benali, “Reorganization and plasticity in the adult brain during learning of motor skills,” *Current Opinion in Neurobiology*. 2005.
- [70] E. Dayan and L. G. Cohen, “Neuroplasticity subserving motor skill learning,” *Neuron*. 2011.
- [71] M. J. Wessel, M. Zimmerman, J. E. Timmermann, K. F. Heise, C. Gerloff, and F. C. Hummel, “Enhancing Consolidation of a New Temporal Motor Skill by Cerebellar Noninvasive Stimulation,” *Cereb. Cortex*, 2016.
- [72] A. Priori, “Brain polarization in humans: A reappraisal of an old tool for prolonged non-invasive modulation of brain excitability,” *Clinical Neurophysiology*. 2003.
- [73] “XXXIX. Of the electric property of the torpedo. In a letter from John Walsh, Esq; F. R. S. to Benjamin Franklin, Esq; LL. D., F. R. S., Ac. R. Par. Soc. Ext., &c.,” *Philos. Trans. R. Soc. London*, 1773.
- [74] B. Aldini G: De Animali Electricitate Dissertationes Duae. Lucheron, “No Title,” 1794.
- [75] L. Bini, “Professor Bini’s notes on the first electro-shock experiment.,” *Convuls. Ther.*, 1995.
- [76] M. Gitlin, “Treatment-resistant bipolar disorder,” *Molecular Psychiatry*. 2006.
- [77] C. J. Stagg and M. A. Nitsche, “Physiological basis of transcranial direct current stimulation,” *Neuroscientist*. 2011.

- [78] A. Vitalucci, I. Coppola, M. Mirra, G. Maina, and F. Bogetto, "Brain stimulation therapies for treatment-resistant depression," *Riv. Psichiatr.*, 2013.
- [79] M. A. Nitsche and W. Paulus, "Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation," *J. Physiol.*, 2000.
- [80] R. B. Evans, "William James, 'The Principles of Psychology,' and Experimental Psychology," *Am. J. Psychol.*, 1990.
- [81] J. Konorski, *Conditioned reflexes and neuron organization*. New York: Cambridge University Press, 1948, pp. 267. \$4.00," *J. Clin. Psychol.*, 1950.
- [82] C. Sampaio-Baptista, Z. B. Sanders, and H. Johansen-Berg, "Structural plasticity in adulthood with motor learning and stroke rehabilitation," *Annual Review of Neuroscience*. 2018.
- [83] Y. Hara, "Brain plasticity and rehabilitation in stroke patients," *Journal of Nippon Medical School*. 2015.
- [84] C. A. Shaw, R. A. Lanius, and K. van den Doel, "The origin of synaptic neuroplasticity: crucial molecules or a dynamical cascade?," *Brain Research Reviews*. 1994.
- [85] K. M. Woolfrey and M. L. Dell'Acqua, "Coordination of protein phosphorylation and dephosphorylation in synaptic plasticity," *J. Biol. Chem.*, 2015.
- [86] N. V. Gulyaeva, "Non-apoptotic functions of caspase-3 in nervous tissue," *Biochemistry (Moscow)*. 2003.
- [87] A. A. Yakovlev and N. V. Gulyaeva, "Pleiotropic functions of brain proteinases: Methodological considerations and search for caspase substrates," *Biochemistry (Moscow)*. 2011.
- [88] T. V. P. Bliss and T. Lømo, "Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anaesthetized rabbit following stimulation of the perforant path," *J. Physiol.*, 1973.
- [89] J. R. Whitlock, A. J. Heynen, M. G. Shuler, and M. F. Bear, "Learning induces long-term potentiation in the hippocampus," *Science (80-.)*, 2006.
- [90] P. Somogyi and T. Klausberger, "Defined types of cortical interneurone structure space and spike timing in the hippocampus," *Journal of Physiology*. 2005.
- [91] A. Antal *et al.*, "Low intensity transcranial electric stimulation: Safety, ethical, legal regulatory and application guidelines," *Clinical Neurophysiology*. 2017.
- [92] R. Hannah, A. Iacovou, and J. C. Rothwell, "Direction of TDCS current flow in human sensorimotor cortex influences behavioural learning," *Brain Stimul.*, 2019.

- [93] J. P. Lefaucheur *et al.*, “Evidence-based guidelines on the therapeutic use of transcranial direct current stimulation (tDCS),” *Clinical Neurophysiology*. 2017.
- [94] *The Stimulated Brain*. 2014.
- [95] A. Rahman *et al.*, “Cellular effects of acute direct current stimulation: Somatic and synaptic terminal effects,” *J. Physiol.*, 2013.
- [96] P. C. Miranda, M. Lomarev, and M. Hallett, “Modeling the current distribution during transcranial direct current stimulation,” *Clin. Neurophysiol.*, 2006.
- [97] A. Datta, J. M. Baker, M. Bikson, and J. Fridriksson, “Individualized model predicts brain current flow during transcranial direct-current stimulation treatment in responsive stroke patient,” *Brain Stimul.*, 2011.
- [98] S. Zaghi, M. Acar, B. Hultgren, P. S. Boggio, and F. Fregni, “Noninvasive brain stimulation with low-intensity electrical currents: Putative mechanisms of action for direct and alternating current stimulation,” *Neuroscientist*. 2010.
- [99] T. Wagner, A. Valero-Cabre, and A. Pascual-Leone, “Noninvasive Human Brain Stimulation,” *Annu. Rev. Biomed. Eng.*, 2007.
- [100] M. A. Hunter, B. A. Coffman, C. Gasparovic, V. D. Calhoun, M. C. Trumbo, and V. P. Clark, “Baseline effects of transcranial direct current stimulation on glutamatergic neurotransmission and large-scale network connectivity,” *Brain Res.*, 2015.
- [101] W. Paulus, “Transcranial electrical stimulation (tES - tDCS; tRNS, tACS) methods,” *Neuropsychol. Rehabil.*, 2011.
- [102] A. Alexoudi, P. Patrikelis, T. Fasilis, S. Deftereos, D. Sakas, and S. Gatzonis, “Effects of anodal tDCS on motor and cognitive function in a patient with multiple system atrophy,” *Disabil. Rehabil.*, 2020.
- [103] A. Schoellmann *et al.*, “Anodal tDCS modulates cortical activity and synchronization in Parkinson’s disease depending on motor processing,” *NeuroImage Clin.*, 2019.
- [104] D. S. Rosen, B. Erickson, Y. E. Kim, D. Mirman, R. H. Hamilton, and J. Kounios, “Anodal tDCS to right dorsolateral prefrontal cortex facilitates performance for novice jazz improvisers but hinders experts,” *Front. Hum. Neurosci.*, 2016.
- [105] B. W. Vines, D. G. Nair, and G. Schlaug, “Contralateral and ipsilateral motor effects after transcranial direct current stimulation,” *Neuroreport*, 2006.
- [106] B. W. Vines, C. Cerruti, and G. Schlaug, “Dual-hemisphere tDCS facilitates greater improvements for healthy subjects’ non-dominant hand compared to uni-hemisphere stimulation,” *BMC Neurosci.*, 2008.
- [107] S. Waters-Metenier, M. Husain, T. Wiestler, and J. Diedrichsen, “Bihemispheric

- transcranial direct current stimulation enhances effector-independent representations of motor synergy and sequence learning,” *J. Neurosci.*, 2014.
- [108] S. Waters, T. Wiestler, and J. Diedrichsen, “Cooperation not competition: Bihemispheric tDCS and fMRI show role for ipsilateral hemisphere in motor learning,” *J. Neurosci.*, 2017.
- [109] L. Angius, J. Hopker, and A. R. Mauger, “The ergogenic effects of transcranial direct current stimulation on exercise performance,” *Frontiers in Physiology*. 2017.
- [110] K. Schoppe, “Das MLS-Gerät: ein neuer Testapparat zur Messung feinmotorischer Leistungen.,” in *Diagnostica*, 1974, pp. 20, S.43-47.
- [111] E. A. Fleishman, “Structur and measurement of psychomotor abilities. In R.N. Singer (Hrsg.),” 1972, pp. 78–196.
- [112] P. M. Fitts, “Perceptual-motor skill learning.,” in *Categories of human learning*, 1964, pp. 243–285.
- [113] R. Campo, C. Reising, Y. Van Belle, J. Nassif, P. O’Donovan, and C. R. Molinas, “A valid model for testing and training laparoscopic psychomotor skills,” *Gynecol. Surg.*, 2010.
- [114] P. Ciechanski and A. Kirton, “Transcranial Direct-Current Stimulation Can Enhance Motor Learning in Children,” *Cereb. Cortex*, 2017.
- [115] J. Reis *et al.*, “Noninvasive cortical stimulation enhances motor skill acquisition over multiple days through an effect on consolidation,” *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 2009.
- [116] P. Ciechanski *et al.*, “Effects of Transcranial Direct-Current Stimulation on Neurosurgical Skill Acquisition: A Randomized Controlled Trial,” *World Neurosurg.*, 2017.
- [117] E. R. Buch *et al.*, “Effects of tDCS on motor learning and memory formation: A consensus and critical position paper,” *Clinical Neurophysiology*. 2017.
- [118] H. Y. Chiu *et al.*, “Gender differences in the acquisition of suturing skills with the da Vinci surgical system,” *J. Formos. Med. Assoc.*, 2020.
- [119] T. Abe, N. Raison, N. Shinohara, M. Shamim Khan, K. Ahmed, and P. Dasgupta, “The Effect of Visual-Spatial Ability on the Learning of Robot-Assisted Surgical Skills,” *J. Surg. Educ.*, 2018.
- [120] N. Fuchs Weizman, R. Maurer, J. I. Einarsson, A. F. Vitonis, and S. L. Cohen, “Survey on barriers to adoption of laparoscopic surgery,” *J. Surg. Educ.*, 2015.
- [121] W. Yingchao, Z. Zhikang, S. Jinjie, X. Qing, and M. Zhongli, “Value of Vienna Test System in psychological screening of flying cadets,” *Mil. Med. Sci.*, 2015.

- [122] H. Reich, J. DeCaprio, and F. McGlynn, "Laparoscopic Hysterectomy," *J. Gynecol. Surg.*, 1989.
- [123] V. N. Palter, N. Orzech, R. K. Reznick, and T. P. Grantcharov, "Validation of a structured training and assessment curriculum for technical skill acquisition in minimally invasive surgery: A randomized controlled trial," *Ann. Surg.*, 2013.
- [124] R. Gala *et al.*, "Effect of validated skills simulation on operating room performance in obstetrics and gynecology residents: A randomized controlled trial," *Obstet. Gynecol.*, 2013.
- [125] C. R. Molinas and R. Campo, "Defining a structured training program for acquiring basic and advanced laparoscopic psychomotor skills in a simulator," *Gynecol. Surg.*, 2010.
- [126] C. Burden, T. L. Appleyard, J. Angouri, T. J. Draycott, L. McDermott, and R. Fox, "Implementation of laparoscopic virtual-reality simulation training in gynaecology: A mixed-methods design," *Eur. J. Obstet. Gynecol. Reprod. Biol.*, 2013.
- [127] F. Hamadani *et al.*, "Elimination of 24-hour continuous medical resident duty in Quebec," *Can. J. Surg.*, 2016.
- [128] F. T. Hamadani, D. Deckelbaum, A. Sauve, K. Khwaja, T. Razek, and P. Fata, "Abolishment of 24-hour continuous medical call duty in Quebec: A quality of life survey of general surgical residents following implementation of the new work-hour restrictions," *J. Surg. Educ.*, 2013.
- [129] N. Ahmed *et al.*, "A systematic review of the effects of resident duty hour restrictions in surgery: Impact on resident wellness, training, and patient outcomes," *Ann. Surg.*, 2014.
- [130] M. H. Jamal *et al.*, "Systematic review and meta-analysis of the effect of North American working hours restrictions on mortality and morbidity in surgical patients," *British Journal of Surgery*. 2012.

10. STRESZCZENIE

Cel.

Cele niniejszej pracy doktorskiej były dwutorowe. Jednym z badanych aspektów była ocena wpływu dodatkowej przezczaszkowej stymulacji niskonapięciowym prądem stałym (tDCS, ang. *Transcranial Direct Current Stimulation*) w ramach treningu laparoskopowego na efekt uczenia się specyficznych umiejętności laparoskopowych takich jak: nawigacja kamerą, koordynacja ręka-oko oraz koordynacja dwuręczna. Ponadto analizie została poddana zależność pomiędzy poziomem posiadanych umiejętności psychomotorycznych u osób bez doświadczenia laparoskopowego a wynikami uzyskiwanymi w czasie (efekt uczenia się) wykonywania specyficznych ćwiczeń laparoskopowych.

Material i Metody.

Badaniem objęto 33 studentów medycyny Uniwersytetu Medycznego im. Piastów Śląskich we Wrocławiu, bez doświadczenia laparoskopowego. W pierwszym etapie badania oceniono wyjściowe zdolności psychomotoryczne przy użyciu baterii testów wiedeńskich (VTS, ang. *Vienna Test System*) oraz poziom kompetencji w zakresie podstawowych laparoskopowych umiejętności na modelu LASTT (ang. *laparoscopic skills testing and training*) obejmującym trzy ćwiczenia: nawigacja kamerą (CN, ang. *camera navigation*) i koordynacja ręka-oko (HE, ang. *hands-eyes coordination*), i koordynacja dwuręczna (Bi, ang. *bimanual coordination*). Kolejno uczestnicy zostali losowo przypisani do dwóch grup A (eksperymentalna) oraz B (porozowana). Podczas badania grupa A była stymulowana niskonapięciowym prądem z wykorzystaniem systemu Halo Sport, podczas wykonywania ćwiczeń na modelu LASTT. Ostatnim etapem badania była końcowa ocena zdolności psychomotorycznych w baterii testów VTS oraz ćwiczeń na modelu LASTT.

Wyniki.

Przedstawione wyniki wykazały, że ocenę końcową koordynacji dwuręcznej Bi_{T4} , determinuje dodatnio przezczaszkowa stymulacja niskonapięciowym prądem stałym ($p=0,02$), płeć męska ($p=0,005$) oraz wynik koordynacji ręka-oko HE_{T1} i nawigacji kamerą CN_{T1} w pierwszym dniu

badania. Na końcową ocenę Bi_{T4} nie miała wpływu ocena Bi_{T1} (koordynacja dwuręczna w pierwszym dniu badania).

Na końcowe oceny ćwiczenia nawigacji kamerą CN_{T4} oraz koordynacji ręka-oko HE_{T4} nie miała wpływu stymulacja niskonapięciowym prądem odpowiednio ($p=0,581$) i ($p=0,439$) natomiast niezależnymi predyktorami dla wyżej wymienionych ćwiczeń była zdolność wizualno-przestrzenna w pierwszym dniu badania (zmienna $3D_{T1}$) odpowiednio ($p=0,003$) i ($p=0,009$).

Kolejnymi niezależnymi predyktorami dla końcowych wyników CN_{T4} i HE_{T4} były oceny umiejętności CN_{T1} i HE_{T1} w pierwszym dniu badania ($p<0,05$). Dla CN_{T4} kolejnym niezależnym predyktorem była płeć męska ($p=0,008$).

Dodatkowo przeprowadzona analiza kanoniczna pozwoliła wyróżnić istotne statystycznie, dodatnie korelacje pomiędzy wyobraźnią przestrzenną (3D) a nawigacją kamerą (CN) wynosząca ($r = 0,397$) i koordynacją ręka - oko (HE) wynosząca ($r = 0,390$). Ponadto istotne statystycznie dodatnie korelacje występują również między wynikami w teście 2HAND a HE ($r = 0,341$).

Wnioski.

Na podstawie przedstawionych wyników niniejszej pracy doktorskiej wysunięto następujące wnioski główne:

1. Przechaszkowa stymulacja niskonapięciowym prądem stałym jest niezależnym, istotnym czynnikiem poprawiającym efekt uczenia się specyficznej umiejętności laparoskopowej w przypadku koordynacji dwuręcznej – Bi (*bimanual coordination*) w ramach treningu laparoskopowego.
2. Przechaszkowa stymulacja niskonapięciowym prądem stałym nie jest niezależnym, istotnym czynnikiem wpływającym na efekt uczenia się specyficznych umiejętności laparoskopowych w przypadku nawigacji kamerą – CN (*camera navigation*) oraz koordynacji ręka-oko - HE (*hands-eyes coordination*).
3. Poziom nabytej umiejętności do widzenia przestrzennego ocenionej w teście 3D z baterii testów VTS (*Vienna Test System*) jest niezależnym istotnym czynnikiem determinującym ostateczne wyniki uzyskiwane w ramach treningu laparoskopowego przy posługiwaniu się kamerą laparoskopową – CN (*camera navigation*) oraz ćwiczeń na koordynację ręka-oko – HE (*hands-eyes coordination*)

4. Poziom nabytej umiejętności do widzenia przestrzennego ocenionej w teście 3D z baterii testów VTS (*Vienna Test System*) pozytywnie koreluje z rezultatami uzyskanymi w pierwszym dniu badania w ramach ćwiczenia na nawigację kamerą CN (*camera navigation*) oraz koordynację ręka–oko - HE (*hands-eyes coordination*).
5. Poziom nabytej umiejętności do koordynacji dwuręcznej ocenionej w teście 2HAND z baterii testów VTS (*Vienna Test System*) pozytywnie koreluje z rezultatami uzyskanymi w pierwszym dniu badania w ramach ćwiczenia na koordynację ręka–oko - HE (*hands-eyes coordination*).

Przeprowadzone badanie i analizy statystyczne pozwoliły dodatkowo sformułować jeden wniosek dodatkowy:

6. Płeć męska jest niezależnym czynnikiem determinującym uzyskanie lepszych ostatecznych wyników w ćwiczeniach na koordynację dwuręczną – Bi (*bimanual coordination*) oraz nawigację kamerą – CN (*camera navigation*) w ramach treningu laparoskopowego.

Powyższe wnioski przedstawiające innowacyjne rozwiązania dla treningu laparoskopowego stanowią potencjalny kierunek do dalszych badań obejmujących większą grupę badawczą.

11. ABSTRACT

Aim

The aim of this doctoral dissertation was twofold. One of the investigated areas was to assess the effect of additional transcranial direct current stimulation (tDCS) during laparoscopy training on the learning outcome with regard to such specific laparoscopic skills as: camera navigation, hand-eye coordination and bimanual coordination. Furthermore, the relationship between the level of psychomotor skills in participants without laparoscopic experience and the results obtained over time (learning outcome) of performing specific laparoscopic exercises was analysed.

Material and methods

The study involved 33 medical students of the Wroclaw Medical University who had no laparoscopic experience. In the first stage of the study, an assessment was conducted for baseline psychomotor skills using a battery of the Vienna Test System (VTS) and for the level of competence in basic laparoscopic skills on the LASTT model comprising three exercises: camera navigation, and hand-eye (HE) coordination and bimanual (Bi) coordination. Participants were randomly assigned to two groups – A (treatment) and B (sham control) group. During the study, group A was stimulated with low-voltage current using the Halo Sport system while performing exercises on the LASTT model. The final stage of the study was the final assessment of psychomotor skills in a battery of VTS tests and exercises on the LASTT model.

Results.

The results showed that the final score of bimanual coordination Bi_{T4} is positively determined by transcranial low-intensity constant current stimulation ($p=0.02$), male gender ($p=0.005$) and the score of hand-eye coordination HE_{T1} and camera navigation CN_{T1} on the first day of the study. The final Bi_{T4} score was not affected by the Bi_{T1} score (bimanual coordination on the first day of the study).

The final scores of the CN_{T4} camera navigation exercise and the HE_{T4} hand-eye coordination exercise were not affected by low-voltage current stimulation ($p=0.581$) and ($p=0.439$), respectively, while visual-spatial ability on the first day of the study was an independent predictor for the aforementioned exercises (variable 3D_{T1}) ($p=0.003$) and ($p=0.009$), respectively.

CN_{T1} and HE_{T1} skill scores on the first day of the study were other independent predictors of final scores for CN_{T4} and HE_{T4} ($p<0.05$). For CN_{T4}, male sex was another independent predictor ($p=0.008$).

Additionally, the canonical analysis conducted revealed statistically significant positive correlations between spatial (3D) imagination and camera navigation (CN) of ($r = 0.397$) and hand-eye (HE) coordination of ($r = 0.390$). Furthermore, statistically significant positive correlations were also found between scores on the 2HAND and HE test ($r = 0.341$).

Conclusions.

Based on presented results of this doctoral dissertation led to the following main conclusions:

1. Transcranial low-intensity constant current stimulation is an independent significant factor in improving bimanual coordination as part of laparoscopic training.
2. Transcranial low-intensity constant current stimulation is not an independent and significant factor that effects on camera navigation skills or hand-eye coordination during laparoscopic training.
3. The level of acquired skills for 3D spatial vision test from VTS (*Vienna Test System*) test battery is a significant and independent factor that determines the final results obtained in laparoscopic camera navigation training and on hand-eye coordination training.
4. The level of acquired skills for 3D spatial vision test from the VTS (*Vienna Test System*) test battery positively correlates with the results obtained on the first day of the study in the camera navigation and hand and eye coordination exercises.
5. The results of the 2HAND test from the VTS (*Vienna Test System*) test battery positively correlate with the results obtained on the first day of the study in the hand and eye coordination exercises.

The conducted studies and statistical analysis let to formulate one additional conclusion:

6. Male gender is an independent factor determining better final results in the bimanual coordination and camera navigation exercises during laparoscopic training.

The above conclusions presenting innovative solutions for laparoscopic training provide a potential direction in further research on a larger study population.

12. SKRÓTY

AAGL - American Association of Gynecologic Laparoscopists, Amerykańskie Stowarzyszenie Ginekologów Laparoskopowych

ACGME - Accreditation Council for Graduate Medical Education, Rada Akredytacyjna Absolwentów Kształcenia Medycznego

ACOG - American College of Obstetricians and Gynecologists, Amerykańskie Kolegium Położników i Ginekologów

ADM - abductor digiti minimi, mięsień odwodziciel palca małego

BDNF - brain-derived neurotrophic factor, Neurotroficzny czynnik pochodzenia mózgowego

Bi - bimanual coordination, koordynacja dwuręczna

CCA - canonical-correlation analysis, analiza kanoniczną

CN - camera navigation, nawigacja kamerą

EAES - European Association for Endoscopic Surgery, Europejskie Stowarzyszenie Chirurgii Endoskopowej

EAGS - European Academy of Gynaecological Surgery, Europejskie Stowarzyszenie Chirurgii Ginekologicznej

EBCOG - European board & College of obstetrics and gynaecology, Europejska Rada i Kolegium Położnictwa i Ginekologii

EEG - electroencephalography, elektroencefalografia

ENTOG - European Network of Trainees in Obstetrics and Gynaecology, Europejska Sieć Rezydentów w Położnictwie i Ginekologii

ESGE - European Society for Gynaecological Endoscopy, Europejska Rada Ginekologii Endoskopowej

FDA - Food and Drug Administration, Agencja Żywności i Leków

GABA - gamma-aminobutyric acid, kwas gamma-aminomasłowy

G - general ability, czynnik ogólny „g”

HMRS - 1H magnetic resonance spectroscopy, protonowa spektroskopia rezonansu magnetycznego

HE - hands-eyes coordination, koordynacja ręka-oko

ID - indeks trudności

JTT - Jebsen-Taylor Test of Hand Function

L-VGCC - L-type calcium channel, voltage dependent, kanał wapniowy typu L

LASTT - laparoscopic skills testing and training, model treningowy specyficznych umiejętności laparoskopowych

LTP - long-term potentiation, długotrwałe wzmocnienie synaptyczne

MEP - motor evoked-potentials, ruchowe potencjały wywołane

MLS - Motor Performance Series

MT - movement time, czas ruchu

NMDA – receptor N-metylo-D-asparaginowy

PPT- Purdue Pegboard Test,

RMS - Root Mean Square, średnia kwadratowa - statystyczna miara sygnału okresowo zmiennego

rs-fMRI - resting state fMRI funkcjonalny rezonansu magnetycznego

S - spatial ability, wyobraźnia przestrzenna

SR-O - spatial orientation, orientacja przestrzenną

SRRT- Serial Reaction Time Task

SVIPT - Sequential Visual Isometric Pinch Task

tACS - transcranial alternating current stimulation, przeczaszkową stymulację niskonapięciowym prądem zmiennym

tDCS - Transcranial Direct Current Stimulation, przeczaszkowa stymulacja niskonapięciowym prądem stałym

tES - transcranial electrical stimulation, przeczaszkowa stymulacja elektryczna

tPCS - transcranial pulsed current stimulation, przeczaszkowa pulsacyjna stymulacja niskonapięciowym prądem

tRNS - transcranial random noise stimulation, przeczaszkowa stymulacja szumów tła

VTS - Vienna Test System, System Testów Wiedeńskich

Vz - visualization, zdolność przestrzennej percepcji – wizualizacja

13. ZAŁĄCZNIKI

LASTT⁺

Psychomotor Skills Test

SCORING FORM

Trainee:	Date:
----------	-------

Please indicate the timing as you read it on the stopwatch in MM:SS:HH

EXERCISE 1: CAMERA NAVIGATION

Series	Time required for identifying the 14 targets OR 2 min	Last identified character after 2 min
# 1	: :	
# 2	: :	
# 3	: :	

EXERCISE 2: HAND-EYE COORDINATION

Series	Time required for positioning 6 rings OR 3 min	Number of rings transported in max 3 min
# 1	: :	
# 2	: :	
# 3	: :	

EXERCISE 3: BI-MANUAL COORDINATION

Series	Time required for positioning 6 pins OR 3 min	Number of pins transported in max 3 min
# 1	: :	
# 2	: :	
# 3	: :	

Załącznik nr 1. Karta do oceny ćwiczeń na modelu LASTT

14.SPIS RYSUNKÓW

RYSUNEK 1. OPTYKA LAPAROSKOPU	6
RYSUNEK 2. IGŁA VERESSA	7
RYSUNEK 3. MODEL PAMIĘCI ROBOCZEJ WEDŁUG BADDELEY I HITCH.	11
RYSUNEK 4. SCHEMAT PRZEPŁYWU PRĄDU W TDCS.	19
RYSUNEK 5. PANEL ROBOCZY DO TESTÓW MLS.	27
RYSUNEK 6. PANEL ROBOCZY TESTU 2HAND.	28
RYSUNEK 7. TOR TESTU 2HAND.	29
RYSUNEK 8. PREZENTACJA TESTU 3D NA MONITORZE.	30
RYSUNEK 9. MODEL LAPAROSKOPOWY LASTT.	31
RYSUNEK 10. TRENAŻER LAPAROSKOPOWY SZABO.	31
RYSUNEK 11. ZINTEGROWANY MONITOR, ŹRÓDŁO ŚWIATŁA I KAMERA LAPAROSKOPOWA.	32
RYSUNEK 12. KLESZCZE LAPAROSKOPOWE.	32
RYSUNEK 13. TEST NAWIGACJA KAMERAŃ (R. CAMPO, C. REISING, Y. VAN BELLE, J. NASSIF, P. O'DONOVAN, AND C. R. MOLINAS, "A VALID MODEL FOR TESTING AND TRAINING LAPAROSCOPIC PSYCHOMOTOR SKILLS," GYNECOL. SURG., 2010)	33
RYSUNEK 14. TEST KOORDYNACJA RĘKA - OKO (R. CAMPO, C. REISING, Y. VAN BELLE, J. NASSIF, P. O'DONOVAN, AND C. R. MOLINAS, "A VALID MODEL FOR TESTING AND TRAINING LAPAROSCOPIC PSYCHOMOTOR SKILLS," GYNECOL. SURG., 2010)	34
RYSUNEK 15. TEST KOORDYNACJA DWURĘCZNA (R. CAMPO, C. REISING, Y. VAN BELLE, J. NASSIF, P. O'DONOVAN, AND C. R. MOLINAS, "A VALID MODEL FOR TESTING AND TRAINING LAPAROSCOPIC PSYCHOMOTOR SKILLS," GYNECOL. SURG., 2010)	35
RYSUNEK 16. URZĄDZENIE HALO SPORT (HTTPS://WWW.HALONEURO.COM)	37
RYSUNEK 17. LOKALIZACJA ELEKTROD DO STYMULACJA TDCS WEDŁUG SYSTEMU EEG 10-20.	37
RYSUNEK 18. DIAGRAM POKAZUJĄCY KOLEJNE ETAPY PRZEBIEGU RANDOMIZOWANEGO BADANIA	38
RYSUNEK 19. LICZBA (ODSETEK) OSÓB W GRUPACH A I B RÓŻNIĄCYCH SIĘ PŁCİĄ I RĘKĄ DOMINUJĄCĄ ORAZ WYNIKI TESTU NIEZALEŻNOŚCI.	40
RYSUNEK 20. WYJŚCIOWA OCENA ZDOLNOŚCI MOTORYCZNYCH RĘKI NIEDOMINUJĄCEJ (ŚLEDZENIE LINIOWE, LICZBA BŁĘDÓW I CZAS BŁĘDÓW) W PORÓWNYWANYCH GRUPACH (A – BADANA, B – KONTROLNA) I WYNIKI TESTÓW ISTOTNOŚCI.	47
RYSUNEK 21. GRAFICZNA INTERPRETACJA ANALIZY KOWARIANCJI (ANCOVA) - OCZEKIWANE ŚREDNIE BRZEGOWE W GRUPIE A (BADANA) I B (KONTROLNA) UMIEJĘTNOŚCI POSŁUGIWANIA SIĘ KAMERAŃ (CNT4), KOORDYNACJI DWURĘCZNEJ (BIT4) I KOORDYNACJI RĘKA-OKO (HET4). PIONOWE SŁUPKI OZNACZAJĄ KOORDYNACJI DWURĘCZNEJ (BI _{T4}) I KOORDYNACJI RĘKA-OKO (HE _{T4}). PIONOWE SŁUPKI OZNACZAJĄ 95% PRZEDZIAŁY UFNOŚCI	52

RYSUNEK 22. GRAFICZNA INTERPRETACJA ANALIZY KOWARIANCJI (ANCOVA) - OCZEKIWANE ŚREDNIE BRZEGOWE KOORDYNACJI DWURĘCZNEJ (BI/F) OBLICZONE DLA WARTOŚCI ŚREDNICH ZMIENNYCH TOWARZYSZĄCYCH (W RAMCE).	53
RYSUNEK 23. GRAFICZNA INTERPRETACJA ANALIZY KOWARIANCJI (ANCOVA)– OCZEKIWANE ŚREDNIE BRZEGOWE UMIEJĘTNOŚCI POSŁUGIWANIA SIĘ KAMERĄ (CNT4) STUDENTEK I STUDENTÓW OBLICZONE DLA WARTOŚCI ŚREDNICH ZMIENNYCH TOWARZYSZĄCYCH. PIONOWE SŁUPKI OZNACZAJĄ 95% PRZEDZIAŁY UFNOŚCI.	55
RYSUNEK 24. STATYSTYKI POZYCYJNE WYNIKÓW ĆWICZEŃ (NAWIGACJA ZA POMOCĄ KAMERY LAPAROSKOPOWEJ – CN; KOORDYNACJA RĘKA – OKO - HE; KOORDYNACJA DWURĘCZNA - BI) W KOLEJNYCH DNIACH NAUKI W PORÓWNYWANYCH GRUPACH STUDENTÓW	57
RYSUNEK 25. GRAFICZNA INTERPRETACJA TESTU NIEPARAMETRYCZNEGO U MANNA-WHITNEYA DLA KOORDYNACJI DWURĘCZNEJ (BIT4).	58
RYSUNEK 26. DIAGRAMY KORELACYJNE POMIĘDZY NAWIGACJĄ KAMERY CN I KOORDYNACJĄ RĘKA-OKO (HE) A WYOB-RAŻNIĄ PRZESTRZENNĄ (3D)	60
RYSUNEK 27. DIAGRAM KORELACYJNY POMIĘDZY OCENĄ KOORDYNACJI RĘKA-OKO (HE) A ŚREDNIM CZASEM PRZEJŚCIA TRASY MT2HAND (T SCORE)	60

15. SPIS TABEL

TABELA 1. PODSUMOWANIE NIEINWAZYJNYCH TECHNIK STYMULACJI MÓZGU: TDCS, TACS, TPCS I TRNS. (KA-DOSH, ROI COHEN. STYMULOWANY MÓZG (STR. 84). ELSEVIER SCIENCE. WERSJA KINDLE)	16
TABELA 2. CHARAKTERYSTYKA WYJŚCIOWA (ANG. <i>BASELINE</i>) BADANYCH STUDENTÓW POD WZGLĘDEM PŁCI I RĘKI DO-MINUJĄCEJ.	40
TABELA 3. MACIERZ WSPÓŁCZYNNIKÓW KORELACJI MIĘDZY RÓŻNYM PRZEDSTAWIENIEM WYNIKÓW KOORDYNACJI DWURĘCZNEJ.	41
TABELA 4. MACIERZ WSPÓŁCZYNNIKÓW KORELACJI MIĘDZY RÓŻNYM PRZEDSTAWIENIEM WYNIKÓW KOORDYNACJI DWURĘCZNEJ.	41
TABELA 5. MACIERZ WSPÓŁCZYNNIKÓW KORELACJI MIĘDZY RÓŻNYM PRZEDSTAWIENIEM WYNIKÓW KOORDYNACJI DWURĘCZNEJ.	42
TABELA 6. MACIERZ WSPÓŁCZYNNIKÓW KORELACJI MIĘDZY RÓŻNYM PRZEDSTAWIENIEM WYNIKÓW ZDOLNOŚCI WIZUALNO - PRZESTRZENNEJ.	42
TABELA 7. MACIERZ WSPÓŁCZYNNIKÓW KORELACJI MIĘDZY RÓŻNYM PRZEDSTAWIENIEM WYNIKÓW ZDOLNOŚCI MOTORYCZNYCH RĘKI DOMINUJĄCEJ	42
TABELA 8. MACIERZ WSPÓŁCZYNNIKÓW KORELACJI MIĘDZY RÓŻNYM PRZEDSTAWIENIEM WYNIKÓW ZDOLNOŚCI MOTORYCZNYCH RĘKI DOMINUJĄCEJ	42
TABELA 9. MACIERZ WSPÓŁCZYNNIKÓW KORELACJI MIĘDZY RÓŻNYM PRZEDSTAWIENIEM WYNIKÓW ZDOLNOŚCI MOTORYCZNYCH RĘKI DOMINUJĄCEJ	43
TABELA 10. MACIERZ WSPÓŁCZYNNIKÓW KORELACJI MIĘDZY RÓŻNYM PRZEDSTAWIENIEM WYNIKÓW ZDOLNOŚCI MOTORYCZNYCH RĘKI DOMINUJĄCEJ	43
TABELA 11. MACIERZ WSPÓŁCZYNNIKÓW KORELACJI MIĘDZY RÓŻNYM PRZEDSTAWIENIEM WYNIKÓW ZDOLNOŚCI MOTORYCZNYCH RĘKI DOMINUJĄCEJ	43
TABELA 12. MACIERZ WSPÓŁCZYNNIKÓW KORELACJI MIĘDZY WYNIKAMI ZDOLNOŚCI MOTORYCZNYCH RĘKI DOMINUJĄCEJ I NIEDOMINUJĄCEJ W SKALI T-SCORE	44
TABELA 13. CHARAKTERYSTYKA WYJŚCIOWA (ANG. <i>BASELINE</i>) BADANYCH STUDENTÓW W PORÓWNYWANYCH GRUPACH I WYNIKI TESTÓW STATYSTYCZNYCH	45
TABELA 14. CHARAKTERYSTYKA WYJŚCIOWA ZDOLNOŚCI MOTORYCZNYCH RĘKI NIEDOMINUJĄCEJ	46
TABELA 15. WYJŚCIOWE ZDOLNOŚCI MOTORYCZNE RĘKI DOMINUJĄCEJ I NIEDOMINUJĄCEJ W PORÓWNYWANYCH GRUPACH I WYNIKI TESTÓW ISTOTNOŚCI	48
TABELA 16. WYNIKI TESTÓW SŁUŻĄCYCH DO POMIARU WYJŚCIOWEGO POZIOMU KOMPETENCJI W ZAKRESIE PODSTAWOWYCH LAPAROSKOPOWYCH UMIEJĘTNOŚCI PSYCHOMOTORYCZNYCH NA MODELU LASTT W GRUPACH STUDENTÓW RÓŻNIĄCYCH SIĘ STYMULACJĄ PRĄDEM I WYNIKI TESTÓW ISTOTNOŚCI T-STUDENTA	49
TABELA 17. WYNIKI ANALIZY JEDNOCZYNNIKOWEJ - ANALIZY REGRESJI LINIOWEJ, MIĘDZY KOŃCOWYMI OCENAMI TRZECH ĆWICZEŃ LAPAROSKOPOWYCH (CN-T4, HE-T4 I BI-T4 W	

SKALI T-SCORE) A ZMIENNYMI NIEZALEŻNYMI (SYMULACJA, PŁEĆ, OCENY ZA ĆWICZENIA LAPAROSKOPOWE W PIERWSZYM DNIU, TZN. CN-T1, HE-T1 I BI-T1)	50
TABELA 18. WYNIKI ANALIZY KOWARIANCJI (ANCOVA) DLA KOORDYNACJI DWURĘCZNEJ BIT4 PO OKRESIE NAUKI (ANG. <i>FOLLOW-UP</i>)	54
TABELA 19. WYNIKI ĆWICZEŃ SŁUŻĄCYCH DO OCENY KOMPETENCJI W ZAKRESIE PODSTAWOWYCH LAPAROSKOPOWYCH UMIEJĘTNOŚCI PSYCHOMOTORYCZNYCH W OKREŚLONYM ŚRODOWISKU MACICY W GRUPACH STUDENTÓW RÓŻNIĄCYCH SIĘ STYMULACJĄ PRĄDEM I WYNIKI TESTÓW ISTOTNOŚCI U MANNA-WHITNEYA	56
TABELA 20. WYNIKI ANALIZY KANONICZNEJ	59
TABELA 21. WYNIKI KORELACJI POMIĘDZY DWOMA ZBIORAMI DANYCH	59