

# SPRZEŻENIE NEUROFIZJOLOGII KLINICZNEJ Z TERADIAGNOSTYKĄ: PERSPEKTYWA NOWEGO ZAWODU FIZJOTERAPEUTY?

Kinalski R.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Kierownik Pracowni Neurofizjologii Klinicznej. Zakład Fizjoterapii Wyższej Szkoły Medycznej w Białymstoku.*

[www.wsmed.edu.pl](http://www.wsmed.edu.pl)

<sup>2</sup>*Pracownia Neurofizjologii Klinicznej i Neurologii Odtwórczej. Oddział Rehabilitacji Neurologicznej SPZOZ Wojewódzki Szpital im. Jędrzeja Śniadeckiego w Białymstoku.*

[www.sniadecja.pl](http://www.sniadecja.pl)

## Streszczenie

Wprowadzenie. Niezliczona liczba zachowań człowieka jest ekspresją odruchów nerwowych (EON). Wywoływanie EON powtarzanymi bodźcami fizykalnymi wzmacnia fizjologiczne zjawisko znane powszechnie, jako długotrwałe wzmocnienie transmisji postsynaptycznej (ang. long-term potentiation - LTP). Fenomen ten dla neurofizjologa ma wartość diagnostyczną a dla fizjoterapeuty stanowi efekt leczenia. Cechy bioelektryczne EON łączą pod względem elektrofizjologicznym koncepcje medycyny personalnej i teradiagnostyki z neurofizjologią kliniczną i fizjoterapią.

Cel. Uzasadnienie koncepcji wykorzystywania przez fizjoterapeutę narzędzi i procedur neurofizjologii klinicznej, jako narzędzi i procedur neurofizjoterapii.

Metoda. Przegląd doniesień związanych z wykorzystywaniem narzędzi i procedur do badań NFK, jako środków fizjoterapeutycznych wspomagających neuroplastyczność mózgu poudarową i po uszkodzeniu rdzenia kręgowego.

Wyniki. Narzędzia i procedury diagnostyczne neurofizjologiczne wykorzystywane są jako fizjoterapeutyczne. Poprawia to jakość życia ubezwłasnowolnionym ruchowo hemiplegikom i tetraplegikom. Efekty takie są możliwe dzięki urządzeniom inżynierskim produkowanym przez przemysł zainteresowany efektami współpracy neurofizjologów z bioinżynieriami. Tymczasem nie przygotowuje się fizjoterapeuty spełniającego w tym zakresie wymogi medyczno-prawne.

Wniosek. Istniejąca w kraju sytuacja wskazuje konieczność innowacji programu kształcenia na kierunku Fizjoterapia.

Słowa kluczowe: medycyna personalizowana, teradiagnostyka, neurofizjologia kliniczna, bioinżynieria, neurofizjoterapia, edukacja

## Wprowadzenie

Co roku zwiększa się w kraju wielotysięczna już populacja młodych bezrobotnych absolwentów wydziałów fizjoterapii. Nie powoduje to zmiany programów nauczania na tym kierunku, kontynuowanym w krajowych szkołach wyższych od roku 2007 [1]. Jednocześnie w medycynie dokonuje się przełom polegający na upowszechnianiu się koncepcji medycyny personalizowanej, oznaczającej zmianę paradygmatu leczenia. W tłumaczeniu potocznym oznacza to leczenie „nie choroby”, ale „leczenie pacjenta” [2]. Okazuje się bowiem, że leczenie pacjenta w oparciu o rozpoznawaną jednostkę chorobową jest mniej skuteczne i droższe niż jego leczenie w oparciu o rozpoznawane indywidualne (personalne) cechy biologiczne jego organizmu [3]. Identyfikacji takiej cechy dokonuje się na podstawie wyniku testu instrumentalnego<sup>1</sup>. Model wybierania narzędzia czy procedury terapeutycznej w oparciu

---

<sup>1</sup> Określenie oznacza przeprowadzanie procedury z użyciem urządzenia inżynierskiego, tzn. aparatu..

o wynik testu instrumentalnego, został nazwany terapią diagnostyczną (teradiagnostyką) [4]. To nowe pojęcie, znane i rozumiane w środowisku np. onkologów, w środowisku fizjoterapeutów nie jest jeszcze upowszechnione. Tymczasem koszty związane z leczeniem chorób i następstw urazów ośrodkowego układu nerwowego (OUN) obciążają podatników. Uzasadnia to oczekiwanie świadczeniobiorcy na dostępność do wysokiej jakości usługi świadczeniodawcy.

Zgłaszająca się lub skierowana do fizjoterapeuty osoba z zaburzoną mózgową kontrolą zachowań ruchowych, powstałą po doznanym uszkodzeniu OUN, pragnie odzyskać jak najszybciej i w możliwie największym zakresie zdolność do samodzielnego funkcjonowania. Dążenie do tego wymaga wspomagania toczących się samoistnie w OUN reaktywnych procesów neuroregeneracji i neuroplastyczności, bądź ich prowokowania zewnętrzną interwencją czynnikami fizykalnymi<sup>2</sup>. Procesy neuroplastyczności OUN, będące od lat Dekady Mózgu (1990-2000) przedmiotem przedklinicznych instrumentalnych badań naukowych, stały się szybko celem klinicznych instrumentalnych badań zarówno naukowych jak i usługowych. Dzięki rozwojowi nowych technologii, diagnostyczne dotychczas narzędzia i procedury wykorzystywane są jako narzędzia i procedury wspomagające procesy neuroplastyczności. Przykładem takiego przełomu jest neurofizjologia kliniczna (NFK) [5].

Badania NFK należą do kategorii elektrofizjologicznych badań instrumentalnych przeprowadzanych u pacjentów z uszkodzeniem OUN. Wyniki tych badań obiektywizują i kwantyfikują w jednostkach SI<sup>3</sup> ekspresję odruchów nerwowych wywoływanych bodźcami fizykalnymi. Odruch nerwowy może być wywoływany pojedynczym lub wielokrotnie powtarzanym bodźcem fizykalnym. Częstotliwość (w Hz) wywoływania odruchowej odpowiedzi OUN jest ściśle związana z częstotliwością aktywacji neuronów i/lub sieci neuronowych OUN. Wywoływanie odruchów nerwowych bodźcami fizykalnymi powtarzanymi z wybraną częstotliwością, może prowadzić do utrwalenia się w mikrostrukturach OUN fizjologicznego zjawiska t.j. długotrwałego wzmocnienia transmisji postsynaptycznej (ang. long-term potentiation-LTP) [6].

W przypadku instrumentalnego wywoływania zjawiska LTP bodźcami fizykalnymi, a takie są podstawowymi czynnikami fizjoterapeutycznymi jak i instrumentalnie oddziałują na OUN, zjawisko LTP powinno być rozumiane nie tylko jako zobiektywizowany wynik badania, ale także jako zobiektywizowany wynik leczenia.

Wywoływanie instrumentalne u hemiplegika czy tetraplegika zjawiska LTP może mieć zatem, w zależności od celu postępowania medycznego, znaczenie dwojakie. Dla neurofizjologa klinicznego LTP ma wartość wyniku diagnostycznego natomiast dla neurofizjoterapeuty LTP ma wartość efektu terapeutycznego. Zestawiane w tym świetle z sobą neurofizjologia kliniczna i fizjoterapia, aczkolwiek w oparciu o biofizykę a nie o biochemię, spełniają regułę koncepcji teradiagnostyki [4].

## Historia

Narzędzia i procedury diagnostyczne NFK były od wielu lat przez niektórych, incydentalnie, okresowo, wykorzystywane dla instrumentalnej fizjoterapii pacjentów po uszkodzeniu OUN. Przykładem jest historia wielokrotnych przerw w 100-letnim rozwoju przezczaszkowej stymulacji kory mózgowej impulsami prądu stałego [7]. Aczkolwiek technologię przezczaszkowego pobudzenia motoneuronów kory mózgowej zapoczątkowali w 1954 r. Gualtierotti i Paterson, to jednak dynamiczny rozwój tej technologii, jaki przyczynił się do późniejszego przełomu w dziedzinie NFK, nastąpił dopiero w 1980 roku,

---

<sup>2</sup> Nazwa czynniki fizykalne, będzie zawsze w tekście wprowadzana jako podstawa fizjoterapii

<sup>3</sup> Lippert H.: Jednostki SI w medycynie. Wprowadzenie do Międzynarodowego Układu Jednostek Miar. PZWL Warszawa 1980.

kiedy Merton i Morton opisali technikę przeczaszkowej elektrostymulacji (Transcranial Electrical Stimulation–TES) motoneuronów piramidowych mózgowej kory ruchowej [8,9].

W 1985 roku Barker, Jalinous i Freeston opisali technikę przeczaszkowej stymulacji magnetycznej (Transcranial Magnetic Stimulation – TMS) [10]. Od tego czasu częstość przeprowadzania przez klinicystów badań funkcji ośrodkowych dróg ruchowych, osób po uszkodzeniu mózgu i/lub rdzenia kręgowego, zaczęła wzrastać w postępie geometrycznym. Przyczyniła się do tego współpraca neurofizjologów z bioinżynieriami. W efekcie opracowywane były sukcesywnie sposoby wykorzystywania w fizjoterapii energii bodźców fizykalnych generowanych przez narzędzia diagnostyczne NFK. Przykładem jest przeczaszkowa stymulacja kory mózgu powtarzanymi impulsami magnetycznymi (Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation – rTMS). Zabieg łagodzi objawy choroby Parkinsona, objawy dystonii i poprawia efekty fizjoterapii poudarowej. Zaczęto ponownie stosować u pacjentów neurologicznych procedurę przeczaszkowej stymulacji impulsami prądu stałego (Transcranial Direct Current Stimulation – tDCS) [11]. Zgodnie ze stwierdzeniami Marka Halletta<sup>4</sup> i Johna Rothwella<sup>5</sup>, procedura tDCS jest coraz częściej stosowaną terapeutyczną techniką wpływania na pobudliwość kory mózgowej i jej plastyczność [5]. Efektem coraz ściślej współpracy neurofizjologów klinicznych z neurobioinżynieriami jest ciągle doskonalenie technologii bezprzewodowego sprzężenia mózgu z komputerem<sup>6</sup>. Technologia ta o nazwie angielskiej Brain-Computer Interface (BCI), umożliwi hemiplegikowi czy tetraplegikowi, za pośrednictwem emitowanej energii elektromagnetycznej powstającej z wyładowań neuronów korowych aktywowanych myślą, zdalnie i bezprzewodowo kontrolować inżynieryjne urządzenia mobilne ułatwiające funkcjonowanie w środowisku..

## Przegląd

Poniższe treści, aczkolwiek sygnalizowane wcześniej i w innym kontekście [12,13], konkretyzują cel niniejszego doniesienia, tj. uzasadnienia koncepcji wykorzystywania przez fizjoterapeutę narzędzi i procedur neurofizjologii klinicznej jako narzędzi i procedur neurofizjoterapii.

## Elektrodiagnostyka klasyczna

Upływ czasu od odkrycia w XIX w. reobazy i chronaksji, nie spowodował zagranicą zaniechania przeprowadzania doświadczalnych i klinicznych badań z zakresu elektrodiagnostyki klasycznej. Jej podstawę teoretyczną stworzył Louis Lapicque, proponując zdefiniowane fizjologicznie parametry reobazy i chronaksji. Wartości reobazy i chronaksji oraz wykreślanie krzywej hiperbolicznej  $i/t$  (intensity/time) umożliwiają porównywanie pobudliwości nerwów i mięśni szkieletowych zwierząt i ludzi. Znajomość tego warunkuje skuteczność klinicznej elektrostymulacji odnerwionego mięśnia szkieletowego elektrodami powierzchniowymi. Wychodząc naprzeciw tym wymogom Russo i wsp. wykazali doświadczalnie, że elektrostymulacja przez skórna odnerwionego mięśnia piszczelowego przedniego szczura, impulsami o wartościach jego chronaksji i reobazy, redukuje ekspresję genów myoD i atrogin-1, odpowiedzialnych odpowiednio za przerost i atrofię włókien mięśniowych. Wynik tego badania instrumentalnego nadaje wartościom reobazy i chronaksji znaczenia biofizycznych biomarkerów, jakie, zgodnie z intencją autorów powinny być przez fizjoterapeutów wykorzystywane w personalizowaniu fizjoterapii osób z neurogennym uszkodzeniem mięśni szkieletowych [14]. Aczkolwiek nazwy chronaksja i reobaza są znane od ponad 100 lat, to jednak ich znaczenie nie przemija i znajduje odzwierciedlenie także

<sup>4</sup> Human Motor Control Section, NINDS, NIH, Bethesda, Maryland, USA.

<sup>5</sup> UCL, Institute of Neurology, Queen Square, London, United Kingdom.

<sup>6</sup> Tłumaczenie własne nazwy angielskiej

w kardiologii. Dotyczy to ustaleń progowych wartości reobazy i chronaksji impulsów generowanych przez rozruszniki sercowe i stosowanych podczas zabiegu defibrylacji serca [15].

#### Elektromiografia powierzchniowa (sEMG)

Dzięki nowym technologiom, miniaturyzacji urządzeń i coraz mniejszym ich kosztom, sEMG rozwija się nadal tak dynamicznie jak w czasie swojego powstawania. Przyczyniły się do tego wyniki międzyośrodkowych prac Europejskiej Grupy SENIAM, jakie doprowadziły do aplikacji narzędzi i procedur sEMG w wykorzystywaniu ich w urządzeniach inżynierskich [16]. Badania efektów fizjoterapii techniką sEMG budzą w kraju coraz większe zainteresowanie. Na podstawie wyników tych badań obiektywizuje się wyniki kinezyterapii osób z zespołem bólowym rwy kulszowej, aktywności jednostek ruchowych w obrębie bólowych punktów spustowych, oraz ocenia się skuteczność terapii manualnej zespołów bólowych szyjno-barkowych [17,18,19]. Aczkolwiek wykorzystywanie narzędzi i procedur diagnostycznej sEMG jako środków do przeprowadzenia neurofizjoterapii znane jest od dawna, to jednak współpraca neurofizjologów klinicznych z bioinżynierami inspirowała do wytwarzania tańszych od elektromiografów urządzeń oraz przyczyniała się do upowszechniania tego rodzaju fizjoterapii [20,21].

Od wysiłku umysłowego pacjenta, to znaczy jego woli, zależy liczba aktywowanych mięśniowych jednostek ruchowych i częstotliwość ich wyładowań. To podstawowe zjawisko neurofizjologiczne przekłada się na energię bioelektryczną, generowaną dowolnie w ćwiczonym mięśniu [22]. Pacjent z niedowładem połowicznym poudarowym, odpowiednio nauczony przez fizjoterapeutę, może energią aktywowanych dowolnie jednostek ruchowych, swoich zdrowych mięśni szkieletowych, wykorzystywać do wywoływania skurczu mimowolnego, jednoimiennych niedowładnych mięśni szkieletowych, położonych przeciwstronnie. Ten rodzaj neurofizjoterapii, prowadzonej przez 12 tygodni zgodnie z określonym przez fizjoterapeutę protokołem szczegółowego postępowania, prowadzi do dowolnego kontrolowania przez hemiplegika czynności prostowania palców ręki niedowładnej i wykorzystywania poprawionej funkcji ręki niedowładnej w czynnościach dnia codziennego [23].

#### Polielektromiografia powierzchniowa (sPEMG)

Badanie techniką polielektromiografii powierzchniowej (superficial polyelectromyography-sPEMG) jest badaniem sEMG wielu mięśni jednocześnie. Badania takie obiektywizują, kontrolowaną przez mózg człowieka, koordynację mięśni aktywowanych w czasie różnych zachowań ruchowych [24]. Technika badania sPEMG znajduje zastosowanie w instrumentalnej weryfikacji stopnia uszkodzenia rdzenia kręgowego. Wyniki takich badań wykazują, że u osób, u których badaniem klinicznym neurologicznym, podmiotowym i przedmiotowym, rozpoznaje się uszkodzenie rdzenia kręgowego całkowite (kategoria A wg. skali ASIA), w rzeczywistości i wielu przypadkach jest to uszkodzenie dyskompletne [25]. Na tej podstawie obecnie wykorzystuje się techniki i procedury badań sPEMG, w celu kwalifikowania paraplegików i tetraplegików do nauczania użytkowania neuroprotez porażonych kończyn dolnych. Technika ta polega na skłanianiu pacjenta do usiłowania wykonywania ruchów dowolnych zginania i prostowania stóp oraz podudzi. W ten sposób paraplegik czy tetraplegik ćwiczy wolicjonalne aktywowanie własnych porażonych mięśni szkieletowych. Energia wywoływanych dowolnie w tych mięśniach resztkowo zachowanych czynnościowych potencjałów bioelektrycznych, po odpowiednim jej wzmocnieniu okazuje się wystarczająco skuteczna dla użytkowania neuroprotez.

Wykorzystywanie tej technologii przez pacjenta, u którego rozpoznano klinicznie uszkodzenie rdzenia kręgowego całkowite (kategoria A wg skali ASIA), umożliwia znacząco poprawienie jakości jego życia przez uzyskanie możliwości stania obunożnego [26].

### Somatosensoryczne Potencjały Wywołane (SEP)

Badanie somatosensorycznych potencjałów wywołanych (Somatosensory Evoked Potentials-SEP) jest procedurą, imitującą procedurę przeciw bólowego fizjoterapeutycznego zabiegu przez skórnej elektrycznej stymulacji nerwu obwodowego (Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation-TENS). Koncepcja uznawania procedury badania SEP jako możliwego zabiegu fizjoterapeutycznego była przez Autora opisana już w 1999 roku [27,28]. Koncepcja wykorzystywania SEP jako okna czasowego neurofizjologii poudarowej została oparta na metaanalizie doniesień (1988-1999) opublikowanych w MEDLINE. Okazało się bowiem, że u osób w okresie ostrym poudarowym badania SEP przeprowadzano, ale tylko w celach diagnostycznych [29].

Obecnie wiadomo, że przez skórną elektrostymulacją nerwu obwodowego powoduje znaczącą aktywację neuronów pierwszorzędowej czuciowej kory mózgowej (SI), która jest połączona anatomicznie i czynnościowo, z tożstronną i przeciwstronną pierwszorzędową korą mózgową ruchową (MI). Kora mózgową ruchową i somatosensoryczną wykazują specyficzną zdolność do neuroplastyczności, co związane jest z poprawą funkcji ruchowych. Przeprowadzanie u pacjenta poudarowego po stronie porażenia połowicznego, stymulacji somatosensorycznej takich nerwów jak, pośrodkowego, łokciowego, promieniowego, strzałkowego, łydkowego czy piszczelowego, wpływa na poprawę funkcji niedowładnej ręki lub funkcji kroczenia. Przeprowadzanie tej procedury w połączeniu z tradycyjną interwencją kinezyterapeutyczną zwiększa efekt uczenia się i zapamiętywania wzorców ruchowych [30].

Umiejętność przeprowadzania badania monosynaptycznego odruchu Hoffmanna (OH) przydaje się, po zmianie protokołu i celu procedury, do zmniejszania spastyczności pochodzenia piramidowego. Amplituda OH odzwierciedla stan i poziom zstępującego presynaptycznego hamowania pobudliwości motoneuronów rdzeniowych. Wcześniejsze nasze badania wykazały, że po 60-cio minutowej przezskórnej elektrostymulacji nerwu strzałkowego zmniejsza się zarówno amplituda OH jak i spastyczność piramidowa [31]. W zależności od wybranej częstotliwości dośrodkowych impulsów elektrycznych stymulujących nerw obwodowy, można wzmacniać funkcję rdzeniowych sieci nerwowych hamujących motoneurony rdzeniowe. Otwiera to możliwość wykorzystywania procedury wywoływania SEP jako nieinwazyjnej metody fizjoterapeutycznej zmniejszającej spastyczność piramidową [32].

Po elektrostymulacji somatosensorycznej niedowładnej ręki u pacjentów po przebytych udarze mózgu, występuje poprawa jej czynności ruchowej, zwiększa się przejściowo siła uścisku ręki niedowładnej i poprawia się zakres wykonywania ruchów dowolnych związanych z czynnościami dnia codziennego. Ta kategoria zabiegów neurofizjacyjnych uznawana jest za bezpieczną, nieinwazyjną i teoretycznie nadającą się do wykonywania przez pacjenta w domu [33].

### Przeznaczona stymulacja mózgu impulsami magnetycznymi (TMS)

Opisana powyżej przeznaczona stymulacja mózgu impulsami magnetycznymi (Transcranial Magnetic Stimulation-TMS) [10], jest procedurą diagnostyczną NFK uznaną powszechnie za nieinwazyjną i bezpieczną. Umiejętność przeprowadzania tej procedury, umożliwia wykonawcy wykorzystywanie jej także w neurorehabilitacji, vs. neurofizjologii, pacjentów po udarze mózgu czy uszkodzeniu rdzenia kręgowego. Procedury TMS należą do wielkiej grupy różnych technik stymulacji kory mózgowej, jakie za pośrednictwem bodźców fizykalnych wspomagają procesy neuroplastyczności oraz odnowę funkcji ruchowych osób

po udarze mózgu [34]. Przykładem efektu fizjoterapeutycznego procedury TMS jest modulowanie funkcji hamowania międzypółkulowego pierwszorzędowej kory ruchowej (MI), co wspomaga wykonywanie dowolnych ruchów manipulacyjnych [35].

#### Przecczaszkowa stymulacja mózgu powtarzanymi impulsami magnetycznymi (rTMS)

Technika przecczaszkowej stymulacji korowych motoneuronów piramidowych powtarzanymi impulsami magnetycznymi (ang. Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation - rTMS), jest bezbolesną, nieinwazyjną i bezpieczną dla zdrowia metodą neurofizjoterapii, stosowaną u pacjentów po przebytym udarze mózgu i uszkodzeniu rdzenia kręgowego. Zwraca się przy tym uwagę na to, że przy stosowaniu techniki rTMS istotne znaczenie ma to, która półkula mózgu (uszkodzona czy przeciwstronna) jest stymulowana, oraz czy z wysoką (5, 10 i 20 Hz) czy z niską (poniżej 1,0 Hz) częstotliwością powtarzania impulsów. W sytuacji nieuszkodzonych włókien nerwowych biegnących w ciele modzelowatym (spoidle wielkim) mózgu, jednostronne uszkodzenie kory ruchowej MI, zwiększa pobudliwość neuronów kory ruchowej MI półkuli mózgowej przeciwstronnej.

Stosowanie dwuminutowej rTMS (20 Hz) w okolicy MI półkuli uszkodzonej prowadzi do redukcji pobudliwości jej neuronów i zwiększenia pobudliwość neuronów okolicy MI półkuli kontralateralnej. Przemawia to za hipotezą, zgodnie z którą jednostronne hamowanie jednej okolicy MI przez rTMS, zwiększa pobudliwość przeciwstronnej nieuszkodzonej okolicy MI. W następstwie tego poprawia się wykonywanie ręką niedowładną ruchów dowolnych, oraz łatwiejsze jest uczenie się ich wykonywania. Przemawia to za wyzwalaniem neuromechanizmu LTP. Efekt ten, wskazujący na poprawę pobudliwości dróg korowordzeniowych, utrzymuje się po zabiegu. Stosowanie piętnastu minutowej rTMS (1.0 Hz) okolicy MI półkuli uszkodzonej wywołuje efekt odwrotny, tzn. zmniejszenie pobudliwości dróg korowordzeniowych. Przemawia to za hipotezą wyzwalania fizjologicznego neuromechanizmu długotrwałego osłabienia transmisji postsynaptycznej (long-term depression-LTD). Efekt ten utrzymuje się po zabiegu [6].

Techniki rTMS wpływają także na modulację poziomów substancji neurotropowych jak dopamina czy serotonina [34,36,37]. Technika przecczaszkowej rTMS, z wysoką (20 Hz) częstotliwością impulsów, łączona z nauką chodzenia, wykorzystywana jest także w neurorehabilitacji osób dorosłych z niecałkowitym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w odcinku szyjnym i piersiowym (kategoria D wg. skali ASIA). Po 15 dniach codziennego przeprowadzania u tych osób zabiegów rTMS, nastąpiła poprawa siły i obniżenie się spastyczności mięśni kończyn dolnych, oraz poprawiła się długość kroków i rytm kroczenia. Poprawa taka utrzymywała się jeszcze przez 2 tygodnie po ostatnim dniu takiej neurofizjoterapii [38].

#### Przecczaszkowa stymulacja mózgu impulsami prądu stałego (tDCS)

Technika przecczaszkowej stymulacji korowych motoneuronów piramidowych impulsami prądu stałego (ang. Transcranial Direct Current Stimulation - tDCS), zapoczątkowana została w 1954 r, przez Gualtierottiego i Patersona [8]. Procedura tDCS polega na przecczaszkowej elektrostymulacji kory mózgowej, za pośrednictwem dwóch elektrod powierzchniowych umieszczonych na skórze głowy w odległych od siebie miejscach. Miejsca te odpowiadają leżącym pod czaszką anatomicznym płatom i polom kory mózgowej, jakie identyfikuje się odpowiednimi pomiarami [39].

Miejsca takie ustala się w zależności od potrzeby stymulowania kory półkuli mózgu katodą lub anodą. Zabieg tDCS trwający 10-20 minut, przy natężeniu impulsów 1-2 mA, nie powoduje uszkodzeń tkanki nerwowej, nie jest bolesny, natomiast czasem może powodować przejściowe uczucie swędzenia skóry pod elektrodami. Zmiana pobudliwości kory ruchowej zależy od polaryzacji prądu. Wzmoczoną pobudliwość wywołuje się, jeżeli nad korą mózgową

umieszczona jest anoda. Natomiast, jeżeli katoda umieszczona jest w takim samym miejscu to pobudliwość kory mózgowej jest zmniejszona.. Zabieg tDCS ukierunkowany na stymulację kory mózgowej uszkodzonej półkuli mózgu ogniskiem poudarowym, powoduje poprawę wykonywania czynności dnia codziennego. Potwierdzono hipotezę zgodnie z którą, łączenie tDCS z kinezyterapią może być użytecznym uzupełnieniem metod tradycyjnych. Stosowanie tDCS elektrodą katodową wywołuje efekt podobny do rTMS o częstotliwości 1.0 Hz. Stosowanie tDCS elektrodą anodową wywołuje efekt podobny do rTMS o częstotliwości 20 Hz. Wyniki badań klinicznych wykazały, że obie procedury mogą wpływać na neuromechanizmy LTP i LTD, substancje neurotropowe, poziomy dopaminy i serotoniny oraz modulować ekspresję genów odpowiedzi wczesnej. Autorzy wielu doniesień dokumentują uzyskiwanie techniką tDCS u pacjentów poudarowych poprawę funkcji motorycznych, w tym i mowy. Z porównywania urządzeń wykorzystywanych do przeprowadzania u pacjenta zabiegu tDCS i zabiegu rTMS wynika, że metoda tDCS jest prostsza, tańsza i teoretycznie pacjenci mogliby sami ją stosować [36,37,38,40].

Technologie medyczne związane z fizjoterapią

W polskim systemie zdrowotnym dostęp do technologii medycznych, w tym procedur medycznych oraz systemów organizacyjnych, jest regulowany przez ubezpieczyciela tj. Narodowy Fundusz Zdrowia (NFZ). Technologie medyczne to m.in. środki materialne jak leki i urządzenia (narzędzia) i środki niematerialne jak wiedza, umiejętności i procedury. Ocena technologii medycznych obejmuje analizę efektywności klinicznej i analizę wpływu refundacji na budżet płatnika, w kraju na budżet NFZ. W tej sytuacji translacja technologii zagranicznych do kraju nie jest łatwa, ale możliwa.

Technologie sprzężenia mózg-komputer (BCI)

Podstawą technologii sprzężenia mózg-komputer (Brain-Computer Interface-BCI) jest, opisana w 1993 r., magnetoencefalografia (Magnetoencephalography-MEG) [41]. Wytwarzane podczas myślenia prądy bioelektryczne w korze mózgowej, generują pole elektromagnetyczne, jakie jest transmitowane bezprzewodowo do tele-sensorów komputera. Zainstalowane w komputerze programy zostają aktywowane i w następstwie transmitowane są bezprzewodowo elektromagnetyczne sygnały, jakie odbierane są przez anteny urządzeń satelitarnych. Są to różne urządzenia mobilne jak np. neuroproteza kończyny górnej czy fotel na kółkach. Zdalne kontrolowanie takiego sprzętu umożliwia pacjentowi funkcjonowanie w środowisku. W efekcie osoby z dużego stopnia ubezwłasnowolnieniem ruchowym poprawiają jakość swojego życia. Mogą komunikować się z otoczeniem i kontrolować swoje urządzenia mobilne [42,43,44].

Odpowiadającą założeniom BCI jest innowacyjna technologia neuroprotezy przedramienia, umożliwiająca tetraplegikowi otwieranie ręki i przemieszczanie uchwyconych przedmiotów. Silnik neuroprotezy uruchamiany jest bezprzewodowo. Jest to pierwsza w świecie neuroproteza kontrolowana bezprzewodowo na dotychczas 150.000 neuroprotez implantowanych [45].

Podsumowanie

Integrowanie technologii z biologią jest społecznym wyzwaniem o poprawę jakości życia ubezwłasnowolnionych ruchowo osób z uszkodzeniem OUN, w tym hemiplegików i tetraplegików [46]. Wyrazem tego jest dążenie przemysłu do miniaturyzacji sprzętu a rynku do obniżania jego kosztów. Jest to znaczący dla gospodarki sygnał ważny dla ubezpieczyciela. Refundujący świadczeniobiorcę będzie zawsze wymagał od świadczeniodawcy kwalifikacji gwarantujących uzyskanie oczekiwanego efektu. Świadczeniodawcą rzeczywistym nie jest lekarz, lecz fizjoterapeuta, który zlecony przez

lekarza zabieg wykonuje. Fizjoterapeuta zatem, przede wszystkim powinien znać dobrze nie tylko struktury ale przede wszystkim rozumieć neuromechanizmy neurodysfunkcji OUN pacjenta z uszkodzeniem mózgu, czy rdzenia kręgowego. Dla osiągnięcia takiej kwalifikacji niezbędne jest poznanie narzędzi i procedur do badań NFK i umiejętność ich wykorzystywania w celach fizjoterapeutycznych. Autor wyraża takie przekonanie na podstawie osobistych doświadczeń z ponad 30-to letniej pracy<sup>7</sup> z fizjoterapeutami, wykonującymi u hemiplegików i tetraplegików zabiegi t.zw. leczniczo-usprawniające w warunkach zarówno szpitalnych jak i ambulatoryjnych. Tymczasem kiedy w kraju czynnych jest 58 oddziałów szpitalnych i innych komórek organizacyjnych o nazwie oddział rehabilitacji neurologicznej [47], nie ma wymogu prawnego aby świadczeniodawca specjalistycznego zabiegu neurofizjoterapeutycznego, udzielanego osobie z uszkodzeniem mózgu czy rdzenia kręgowego, potrafił wspomagać neuroplastyczność OUN wybraną technologią medyczną, personalizowaną w oparciu o badanie NFK [48]. Świadczy to o niewykorzystaniu, w tym także przez NFZ, istniejących zasobów krajowej infrastruktury i kapitału ludzkiego, jakie umożliwiają nauczanie neurofizjologii klinicznej na wydziałach fizjoterapii [49].

Tymczasem prowadzone od 1998 r. w kilku krajowych szkołach wyższych nauczanie przedmiotu NFK trwa nieprzerwanie, a nawet w jednej ze szkół wydłużono nauczanie tego przedmiotu do dwóch semestrów [50]. Nie zmienia to jednak tego, że w kraju wzrasta wielotysięczna populacja bezrobotnych młodych dyplomowanych fizjoterapeutów, spośród których aż 80% stwierdza możliwość łatwiejszego znalezienia pracy w krajach Unii Europejskiej [51].

#### Wniosek

Istniejąca sytuacja wskazuje konieczność innowacji programu kształcenia fizjoterapeutów przez tworzenia kierunku neurofizjoterapii vs. neurofizjatrii.

#### Piśmiennictwo

- [1] Standardy kształcenia dla kierunku studiów, Fizjoterapia [www.rgsw.edu.pl](http://www.rgsw.edu.pl)
- [2] Gazeta Lekarska. Temat Numeru, Medycyna personalizowana. 2011;07.
- [3] Wypowiedź (2.07.2011) Prof. Zbigniewa Maciąga, Kierownika Katedry Chorób Wewnętrznych Warszawskiego UM i Dziekana Centrum Kształcenia Podyplomowego, na konferencji z dziennikarzami. [www.naukawpolsce.pap.pl](http://www.naukawpolsce.pap.pl).
- [4] Chen X.: Editorial. Introducing Theranostics Journal-From the Editor-in-Chief. Theranostics, 2011; 1: 1-2.
- [5] Hallett M., Rothwell J.: Milestones in Clinical Neurophysiology. Movement Disorders 2011; 26, 6: 958-967.
- [6] Morris RGM: Introduction and overview. W: Fazeli S., Collingridge G.L. (red.): Cortical Plasticity LTP and LTD. BIOS Scientific Publishers Ltd. First Edit. Oxford 1996: 1– 7.
- [7] Utz K.S., Dimova V., Oppenlander K., Kerkhoff G.: Electrified minds: Transcranial direct current stimulation (tDCS) and Galvanic Vestibular Stimulation (GVS) as methods of non-invasive brain stimulation in neuropsychology-A review of current data and future implications. Neuropsychologia, 2010; 48, 10: 2789-2810.
- [8] Gualtierotti T. and A. Spencer Paterson.: Electrical stimulation of the unexposed cerebral cortex. J Physiol., 1954; 125, 2: 278-291.
- [9] Merton PA, Morton HB.: Stimulation of the cerebral cortex in the intact human subject. Nature, 1980; 285:227.

---

<sup>7</sup> Nabyta przed przejściem na emeryturę w 1998 roku.



- [10] Barker A.T., Jalinous R., Freeston H.: Noninvasive magnetic stimulation of human motor cortex. *Lancet*, 1985; 2: 1106-1107.
- [11] Nitsche M.A., Paulus W.: Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *J Physiol.*, 2000; 527: 633-639.
- [12] Kinalski R.: Neurofizjologia kliniczna w świetle promowanej koncepcji medycyny personalizowanej i teradiagnostyki. W: Huber J., Wytrązek M., Lipiec J., Kulczyk A. (red.): Wybrane zagadnienia z neurofizjologii klinicznej i fizjoterapii. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Edukacji i Terapii w Poznaniu. Poznań 2011. ISBN 978-83-927622-9-4: 7-16.
- [13] Kinalski R.: Neurofizjologia kliniczna W: Kwolek A.(red.): Fizjoterapia w neurologii i neurochirurgii. Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa. Zapowiedź PZWL wydania w sierpniu 2012; R. 2.: 25-98.
- [14] Russo T.L. et al.: Electrical Stimulation Based on Chronaxie Reduces Atrogin-1 and MyoD Gene Expressions in Denervated Rat Muscle. *Muscle Nerve*, 2007; 35: 87- 97.
- [15] Irnich W.: The Terms „Chronaxie” and „Rheobase” are 100 Years Old. *Pace*, 2010; 33: 491-496.
- [16] Wehner M.: Man to Machine, Applications in Electromyography. W: Schwartz M (ed.) EMG Methods for Evaluating Muscle and Nerve Function. In Tech., 2012; ISBN 978-953-307-793-2. [www.intechopen.com/books/](http://www.intechopen.com/books/)
- [17] Huber J., Lisiński P., Samborski W., Wytrązek M.: The effect of Early isometric exercises on clinical and neurophysiological parameters in patients with sciatica: An interventional randomized single-blinded study. *Isokinetics and Exercise Science*. 2011; 19: 207-214.
- [18] Wytrązek M., Huber J., Lisiński P.: Changes in muscle activity determine progression of clinical symptoms in patients with chronic spine-related muscle pain. A complex clinical and neurophysiological approach. *Functional Neurology*, 2011; 26, 3: 141-149.
- [19] Put M.: Skuteczność metody Mulligana w leczeniu chorych z zespołami bólowymi pochodzenia górnego odcinka kręgosłupa szyjnego. W: Huber J., Wytrązek M., Lipiec J., Kulczyk A. (Red.): Wybrane zagadnienia z neurofizjologii klinicznej i fizjoterapii. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Edukacji i Terapii w Poznaniu. Poznań 2011; ISBN 978-83-927622-9-4: 66 – 79.
- [20] Kinalski R., Samusik J., Misiaszek W., Sobczyk M.: Zastosowanie Elektromiografu i Przyrządu BF-201 w Reedukacji Porażonych Mięśni Szkieletowych: W: Hulek A.(Red.): Materiały II Kongresu TWK Warszawa 1-2 października 1983. PZWL Warszawa 1986; 156-158.
- [21] Kinalski R.: Ćwiczenia czynne samokontrolowane – możliwości zastosowania jako terapii opartej o zastępcze sprzężenie zwrotne u pacjentów neurologicznych. *Postępy Rehabilitacji*, 1988; 2: 55-67.
- [22] Sheean G.L.: Quantification of motor unit action potential energy. *Clin Neurophysiol.*, 2012; 123: 621-625.
- [23] Knutson J.S., Chae J.: A Novel Functional Electrical Stimulation Treatment for Recovery of Hand Function in Hemiplegia: 12-Week Pilot Study. *Neurorehabil. Neural Repair*, 2009; 23, 1: 17-25.
- [24] Hug F.: Can muscle coordination be precisely studied by surface electromyography. *J Electromyogr Kinesiol.*, 2011; 21, 1: 1-12.
- [25] Kinalski R.: Dyskompletne uszkodzenie rdzenia kręgowego. *Aspekty Rehabilitacji w Leczeniu Schorzeń i Urazów Kręgosłupa w Odcinku Szyjnym*. Materiały X Sympozjum Naukowego Polskiego Towarzystwa Rehabilitacji Warszawa 5-7 czerwca 2003; 13.
- [26] Moss C.W., Kilgore K.L., Peckham P.H.: A Novel Command Signal for Motor Neuroprosthetic Control. *Neurorehabil Neural Repair* 2011; 25, 9: 847-854.

- [27] Kinalski R.: Antycypacja logistyki neurologii odtwórczej w okresie ostrym udaru mózgu niedokrwiennego. III Kongres Polskiego Towarzystwa Rehabilitacji. Ustroń/Cieszyn 17- 19 września 1998; A.II.:5.: 21 oraz B.V.6: 174.
- [28] Kinalski R.: Procedura badania somatosensorycznych potencjałów wywołanych w okresie ostrym udaru mózgu: okno czasowe neurofizjatrii? *Neur. Neurochir. Pol.* 1999; 3: 226-227.
- [29] Kinalski R.: Zachowanie się potencjałów wywołanych u chorych w okresie ostrym udaru mózgu (na podstawie danych z literatury 1988 – 1999 r.). *Neurol Neurochir Pol.*, 2002; T.36 (LII), 1: 105-111.
- [30] Wu C.W., Seo H-J., Cohen L.G.: Influence of Electric Somatosensory Stimulation on Paretic-Hand Function in Chronic Stroke. *Arch Phys Med Rehabil.*, 2008; 87: 351-357.
- [31] Pietrzak D, Kinalski R.: Wpływ przezskórnej elektrostymulacji nerwu strzałkowego na modulację odruchu Hoffmanna u chorych po udarze mózgu. *Postępy Rehabilitacji*, 1996; 10, 2: 77-84.
- [32] Roche N. et al.: Effects of afferent stimulation rate on inhibitory spinal pathways in hemiplegic spastic patients. *Clin Neurophysiol.*, 2012; 123, 7: 1391-1402.
- [33] Conforto A.B., Nocelo Ferreiro K., Tomasi C. i wsp.: Effects of Somatosensory Stimulation on Motor Function After Subacute Stroke. *Neurorehabil. Neural. Repair*, 2010; 24, 3: 263-272.
- [34] Floel A. i Cohen L.G.: Recovery of function in humans: Cortical stimulation and pharmacological treatment after stroke. *Neurobiology of Disease*, 2010; 37: 243-251.
- [35] Morishita T., Lehara K. i Funase K.: Changes in interhemispheric inhibition from active to resting primary motor cortex during a fine-motor manipulation task. *Journal of Neurophysiology*, 2012; 107, 11: 3086-3094.
- [36] Hummel F.C., Cohen L.G.: Czynniki zwiększające plastyczność mózgu. *Current Opinion in Neurology*. Wydanie Polskie 2006; 4, 1: 11- 18.
- [37] Talelli P., Rothwell J.: Czy stymulacja mózgu po udarze ma przyszłość? *Current Opinion in Neurology*. Wydanie Polskie 2007; 5, 1: 24-31.
- [38] Benito J. et al.: Motor and Gait Improvement in Patients With Incomplete Spinal Cord Injury Induced by High-Frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation. *Top Spinal Cord Inj Rehabil.*, 2012; 18, 2: 106-112.
- [39] Klem G.H. et al.: The ten-twenty electrode system of the International Federation. W: Deuschl G, Eisen A (eds.): *Recommendations for the Practice of Clinical Neurophysiology: Guidelines of the International Federation of Clinical Neurophysiology 2<sup>nd</sup> Revised and Enlarged Edition*. *Electroenceph Clin Neurophysiol.*, 1999; 52: 3-6.
- [40] Bastani A., Jaberzadeh S.: Does anodal transcranial direct current stimulation enhance excitability of the motor cortex and motor function in healthy individuals and subjects with stroke: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Neurophysiology*, 2012; 123: 644-657.
- [41] Hämäläinen M. et al.: Magnetoencephalography – theory, instrumentation and application to non-invasive studies of signal processing of the working brain. *Rev Modern Phys.*, 1993; 65: 413-497.
- [42] Daly J.J., Wolpaw J.R.: Brain-computer interfaces in neurological rehabilitation. *Lancet Neurol* 2008; 7: 1032-1043.
- [43] Broetz D. et al: Combination of Brain-Computer Interface Training and Goal-Directed Physical Therapy in Chronic Stroke: A case Report. *Neurorehabil Neural Repair* 2010; 24, 7: 674-679.
- [44] Wang W. et al: Neural Interface Technology for Rehabilitation: Exploiting and Promoting Neuroplasticity. *Phys Med Rehabil Clin N Am.*, 2010; 21: 157-178.

- [45] Gan L.S. et al.: First Permanent Implant of Nerve Stimulation Leads Activated by Surface Electrodes, Enabling Grasp and Release: The Stimulus Router Neuroprosthesis. *Neurorehabil Neural Repair*, 2011; doi: 10.1177/1545968311420443
- [46] Collinger J.L. et al.: Integrating Rehabilitation Engineering Technology With Biologics. *PM&R*, 2011; 3: 148- 157.
- [47] [http://szukaj.sluzbazdrowia.pl/oddzialy\\_rehabilitacji\\_neurologicznej](http://szukaj.sluzbazdrowia.pl/oddzialy_rehabilitacji_neurologicznej)
- [48] Zarządzenie Nr 53/2010/DSOZ Prezesa Narodowego Funduszu Zdrowia, §21. Rehabilitacja neurologiczna w warunkach stacjonarnych oraz Załączniki do Zarządzenia
- [49] Kinalski R.: Potrzeba i możliwość nauczania neurofizjologii klinicznej na wydziałach fizjoterapii. *Rehabilitacja Medyczna*, 2008; 12, 4: 37-44.
- [50] Wyższa Szkoła Medyczna w Białymstoku. Kierunek Fizjoterapia. Sylabus przedmiotu Neurofizjologia Kliniczna. Rok akademicki 2011/2012.
- [51] Gotlib J. et al.: A comparison of the perceptions and aspirations of third-year physiotherapy students trained in three educational settings in Poland. *Physiotherapy*, 2010; 96: 30-37.

Adres do korespondencji:

Ryszard Kinalski  
Wesoła 6 m. 1  
15-306 Białystok  
Tel.: 85 74 55 094  
kinalskir@poczta.fm