



# Przeznaczszkowa stymulacja prądem stałym (tDCS) u pacjentów z afazją po udarze mózgu

Transcranial direct current stimulation (tDCS) in patients with aphasia after cerebral stroke

Daria Kukuła<sup>1,A-D</sup>, Monika Wiłkość-Dębczyńska<sup>1,A,E-F</sup>, Patrycja Michalska<sup>1,D</sup>, Klaudia Ołownia<sup>1,D</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy, Polska

A – Koncepcja i projekt badania, B – Gromadzenie i/lub zestawianie danych, C – Analiza i interpretacja danych, D – Napisanie artykułu, E – Krytyczne zrecenzowanie artykułu, F – Zatwierdzenie ostatecznej wersji artykułu

Kukuła D, Wiłkość-Dębczyńska M, Michalska P, Ołownia K. Przeznaczszkowa stymulacja prądem stałym (tDCS) u pacjentów z afazją po udarze mózgu. Med Og Nauk Zdr. DOI: 10.26444/monz/119489

## Streszczenie

**Wprowadzenie i cel pracy.** Udar mózgu oraz jego konsekwencje stanowią istotny problem medyczny, społeczny i ekonomiczny. Każda zmiana w obszarze mózgowym pociąga za sobą konsekwencje związane z funkcjonowaniem osoby w wielu istotnych dla życia obszarach: sferze fizycznej, poznawczej i emocjonalnej. Wśród obiecujących, choć nadal eksperymentalnych, metod rehabilitacji osób po udarach jest przeznaczszkowa stymulacja prądem stałym (tDCS). Dotychczasowe badania wskazują na skuteczność tej metody w rehabilitacji afazji oraz funkcji poznawczych. Celem niniejszego artykułu jest przegląd dotychczasowych badań nad skutecznością tDCS u pacjentów z afazją po udarze mózgu w zakresie funkcjonowania poznawczego.

**Skrócony opis stanu wiedzy.** Przeznaczszkowa stymulacja prądem stałym jest eksperymentalną metodą wspomaganą terapii dysfunkcji poznawczych u chorych z uszkodzeniem mózgu. Wykazano korzystny wpływ stymulacji tDCS na poprawę funkcjonowania pacjentów z afazją po udarach mózgu, nawet przy jednorazowych zabiegach. Doniesienia naukowe w tym obszarze głównie skupiają się na funkcjach językowych. Zdecydowanie mniej jest doniesień na temat usprawniania innych funkcji poznawczych, takich jak: uwaga, pamięć czy zdolność uczenia się u pacjentów afatycznych.

**Podsumowanie.** Obecnie w metodzie tDCS można upatrywać duży potencjał, w szczególności w obszarze psychologii, neurologii i geriatry. Biorąc pod uwagę dane statystyczne oraz prognozy demograficzne stale zwiększa się liczba udarów mózgu. Metoda tDCS może być wykorzystywana m. in. jako pozafarmakologiczne wspomaganie leczenia w udarach mózgu. Jednocześnie, mimo obiecujących doniesień w zakresie neurorehabilitacji z wykorzystaniem stymulacji stałoprądowej, metoda ta wciąż budzi wiele wątpliwości i ma status działań eksperymentalnych.

## Słowa kluczowe

tDCS, udar mózgu, afazja, nieinwazyjna stymulacja mózgu, zdolności poznawcze

## Abstract

**Introduction.** Cerebral stroke and its consequences are important medical, social and economic problems. Each change in the brain area entails serious consequences related with the functioning of an individual in many domains important for life. For a long time, attention was paid only to the physical problems faced by patients after stroke, and it was the area of concern in rehabilitation. At present, it is known that each stroke event brings about consequences for a patient also in the cognitive and emotional sphere. Transcranial direct current stimulation (tDCS) is one of the promising although still experimental methods in post-stroke rehabilitation. Research to-date indicates the effectiveness of this method in aphasia and cognitive functions rehabilitation. However, this problem area still requires further studies.

**Objective.** The aim of the presented article is to review current research on the effectiveness of tDCS in the cognitive functioning of patients with post-stroke aphasia.

**Brief description of the state of knowledge.** Transcranial direct current stimulation is an experimental method in cognitive neurorehabilitation of dysfunction with brain damage. A beneficial effect of tDCS stimulation on improving the functioning of patients with aphasia after stroke has been demonstrated, even with one-off treatment. Scientific reports in this area focus mainly on language functions. There are definitely fewer studies concerning the improvement of other cognitive functions, such as attention, memory or learning ability in aphasic patients.

**Conclusions.** Currently, tDCS can be seen to have great potential, in particular in the fields of psychology, neurology and geriatrics. Taking into account statistical data and demographic projections, the number of strokes is constantly increasing. The tDCS method can be used, among others, as a non-pharmacological treatment aid in strokes. At the same time, despite promising reports in the field of neurorehabilitation using tDCS, this method still raises many doubts and has the status of experimental activities.

## Key words

tDCS, cerebral stroke, aphasia, non-invasive brain stimulation, cognitive abilities

## WSTĘP

Udar mózgu, wraz ze swoimi długotrwałymi konsekwencjami lub powikłaniami, stanowi istotny problem medyczny, społeczny i ekonomiczny. Zgodnie z definicją Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) pod pojęciem udaru mózgu rozumie się nagłe wystąpienie ogniskowych lub uogólnionych zaburzeń czynności ośrodkowego układu nerwowego, które utrzymują się przynajmniej 24 godziny i są spowodowane zaburzeniami naczyniowymi. Udar mózgu uznaje się za chorobę cywilizacyjną, która dotyka głównie osoby po 40. roku życia. Dane z badania Global Burden of Diseases, Injuries, and Risk Factors (GBD 2013) wskazują, że w 2013 roku liczba osób, które przeżyły udar, wynosiła blisko 26 mln (z czego 71% to udary niedokrwienne), a nowych przypadków zachorowań było 10,3 mln [1]. Według danych statystycznych Narodowego Funduszu Zdrowia (NFZ) w 2017 roku w ramach leczenia udarów mózgu świadczenia zostały udzielone blisko aż 84 tys. osób [2]. Następstwem udaru są różnego rodzaju ubytki neurologiczne, do których zalicza się przede wszystkim: niedowład, problemy z utrzymaniem równowagi oraz zaburzenia emocjonalne i poznawcze, w tym zaburzenia językowe, utrudniające, a nawet uniemożliwiające komunikację, które często są pomijane lub traktowane jako nieistotne w procesie rehabilitacji. W części przypadków objawy ostrego uszkodzenia mózgu ustępują samoistnie lub są niwelowane dzięki leczeniu. Jednocześnie szacuje się, że u 25–50% chorych udar prowadzi do trwałej niepełnosprawności [3].

Powyższe dane skłaniają do zwrócenia większej uwagi na problematykę udaru mózgu oraz jego implikacji dla zdrowia i jakości życia. Niniejszy artykuł stanowi przegląd dostępnych w literaturze danych na temat funkcjonowania osób po udarze mózgu, ze szczególnym uwzględnieniem osób z afazją, oraz przyjrzenie się możliwości zastosowania nowoczesnej metody terapii, jaką jest przechczaszkowa stymulacja mózgu prądem stałym (tDCS). W celu uzyskania danych do analizy przeszukano bazy naukowe: MEDLINE, EBSCO, BioMed Central, PLoS oraz Google Scholar. Strategię przeszukiwania oparto na następujących słowach kluczowych: *transcranial direct current stimulation (tDCS)*, *stroke*, *post-stroke aphasia*, *cognitive functioning*. W ramach początkowej selekcji uzyskane publikacje oceniono na podstawie tytułu oraz abstraktu. W dalszej kolejności dokonano oceny pełnych tekstów publikacji pod kątem jakości metodologicznej. Wykluczono artykuły niemające związku z celem niniejszego przeglądu literatury oraz niespełniające minimalnych kryteriów jakości i naukowości.

## UDAR MÓZGU I JEGO SKUTKI W FUNKCJONOWANIU CHOREGO

W zależności od tego, jaki obszar mózgu został uszkodzony na skutek udaru, jak rozległe są te zmiany, w jakim czasie podjęto leczenie, a także tego, jaki był ogólny stan zdrowotny pacjenta przed zachorowaniem, następstwa incydentu mogą w różnym stopniu wpływać na funkcjonowanie chorego [4]. Nie ulega jednak wątpliwości, że każda zmiana w obszarze mózgowym niesie poważne konsekwencje związane z funkcjonowaniem osoby w wielu istotnych dla życia obszarach [5, 6].

Neuropsychologiczne konsekwencje udaru mózgu dotyczą m.in. zaburzeń kontroli, co ma odzwierciedlenie

w zaburzonym funkcjonowaniu emocjonalno-osobowościowym, motorycznym i kognitywnym [7]. Deficyty w sferze poznawczej mają duży wpływ na proces zdrowienia oraz rehabilitację (również fizyczną). Występowanie dysfunkcji poznawczych może w znacznym stopniu utrudniać rehabilitację czuciowo-ruchową. Pacjenci bez wyraźnie obniżonego funkcjonowania fizycznego, których jakość życia jest wyraźnie zmniejszona ze względu na odczuwane deficyty poznawcze i emocjonalne, często nie są świadomi faktu, że ich stan również może ulec poprawie, a w konsekwencji nie otrzymują specjalistycznej pomocy [8].

Uszkodzenie mózgu prowadzi do zaburzenia homeostazy. Plastyczność mózgu pozwala funkcjonować poznawczo w sposób elastyczny, adekwatny do zmieniających się warunków środowiska. Gdy następuje uszkodzenie struktur mózgu, zostają zainicjowane procesy dezintegracyjne oraz spontaniczne zmiany naprawcze. Zadaniem tych procesów jest redukcja uszkodzeń, będących następstwem patologicznych zmian naczyniowych w mózgu [9]. Należy podkreślić również, że następstwa uszkodzeń mózgu nie są jedynie wynikiem uszkodzenia samego w sobie, ale także stanowią efekt dynamicznych zmian aktywacyjnych, które zachodzą w naruszonych sieciach neuronalnych. Zmiany te mogą być również mało adaptacyjne [10, 11]. Zmiany w zakresie funkcjonowania tkanki nerwowej mózgu mają przełożenie na zwiększony wysiłek poznawczy [12, 13, 14]. Badania kliniczne dowodzą, że behawioralne zaburzenia poudarowe stabilizują się powoli, a niekiedy nigdy nie zostają ustabilizowane [7, 14–18].

Jedną z częstszych konsekwencji przejścia udaru jest afazja, czyli zespół objawów, w którym dochodzi do zaburzenia lub utraty zdolności planowania, nadawania i rozumienia mowy u osoby, która wcześniej w pełni opanowała te umiejętności. Podłożem tych zaburzeń są zmiany organiczne wybranych struktur mózgowych (w obszarze mowy, tzw. pole afazji) [19–21]. Klinicyści podają, że udary mózgu mogą być przyczyną ponad połowy wszystkich przypadków afazji [22]. Ponadto około 1/3 pacjentów po udarze, przynajmniej przez jakiś czas, doświadcza zaburzeń językowych [8].

Przez długi czas afazję łączono jedynie z deficytami językowymi. Obecnie zwraca się coraz większą uwagę na upośledzenie również innych funkcji poznawczych u pacjentów afatycznych. Część dotychczasowych doniesień mówi, że deficyty poznawcze zależą od nasilenia zaburzeń językowych. Analiza 47 badań, obejmująca 1710 osób, wykazała, że w 61,3% badań pacjenci z afazją po udarze mają tendencję do uzyskiwania niższych wyników niż osoby zdrowe w większości niewerbalnych testów poznawczych. Wśród głównych deficytów pojawiających się w sferze poznawczej wymienia się: funkcje językowe, pamięć, uwagę, myślenie logiczne, orientację wzrokowo-przestrzenną oraz funkcje wykonawcze [23, 8].

## PRZECHCZASZKOWA STYMULACJA PRĄDEM STAŁYM (TDCS)

Odpowiedź aktywacyjna ośrodkowego układu nerwowego (OUN) na uszkodzenie zmienia się dynamicznie, wraz z przebiegiem choroby neurologicznej, zarówno zdrowieniem, jak i postępiem. Zmiany te, rozumiane w kategoriach neuroplastyczności kompensacyjnej, są przejawem dążenia systemów mózgowych do utworzenia nowych zależności

wzbudzeniowych pomiędzy zachowanymi częściami sieci [11, 24]. Złożona kompensacja aktywacyjna obejmuje zarówno procesy korzystne dla zachowania i aktywności poznawczej chorego, jak i zjawiska, które nie prowadzą do widocznych korzyści klinicznych, a nawet przeciwnie – pogłębiają deficyt i obniżają skuteczność terapii. Dotychczasowe doniesienia wskazują, że poddanie mózgu działaniu prądu stałego może być pomocne w swoistym i wybiórczym wzmacnianiu adaptacyjnych wzorców aktywacyjnych, tłumieniu wzorców niekorzystnych oraz odbudowie równowagi aktywacyjnej między półkulami [10, 11].

Przechczaszkowa stymulacja prądem stałym (*transcranial direct current stimulation*, tDCS) zalicza się do nieinwazyjnych, bezpiecznych dla człowieka terapeutycznych technik stymulacji mózgu [25–27]. Jednorazowa stymulacja trwa zazwyczaj 10–30 minut, a w trakcie niej podawany jest stałoprądowy bodziec o wartościach 1–2 mA. Dzięki temu wywoływane jest zjawisko polaryzacji błon komórkowych neuronów, czego konsekwencją jest zwiększenie lub zmniejszenie poziomu wzbudzenia korowego mózgu [25]. Charakter indukowanej zmiany korowej zależy od bieguna elektrody: anoda powoduje tworzenie się pod nią ładunku ujemnego, co prowadzi do depolaryzacji błony komórkowej neuronów na skutek braku jonów dodatnich. Efektem końcowym polaryzacji anodowej jest zwiększenie pobudzenia, czyli wzrost aktywności neuronalnej kory. Odwrotna sytuacja występuje przy stymulacji katodowej: wytwarza się wówczas pod katodą ładunek dodatni, co powoduje hiperpolaryzację błony komórkowej neuronów, a w konsekwencji – obniża wzbudzenie korowe [25, 11]. W trakcie stymulacji umieszczane są dwie elektrody: aktywna oraz odniesienia (dla anody jest to katoda, dla katody – anoda). W zależności od tego, jaki ma być efekt stymulacji (pobudzenie czy spadek wzbudzenia korowego), elektrody są umieszczane w różny sposób. Zamontowanie nad jedną półkulę mózgu elektrody aktywnej, a nad drugą elektrody odniesienia sprawia, że stymulowane są jednocześnie obie półkule, z kolei zamocowanie elektrody odniesienia poza obrębem głowy (np. na przedramieniu) powoduje stymulację jednej półkuli, ponieważ prąd najsilniej działa w obszarze pod elektrodami i w tym rejonie dociera do mózgu [25, 11, 28]. W trakcie stymulacji jedynie 10% prądu wnika w docelowy obszar kory, pozostałe 90% zostaje rozproszona, m.in. przepływając przez skórę czy tkankę kostną [29].

Wyróżnia się dwa główne obszary zastosowania stymulacji tDCS:

- 1) wspomaganie sprawności poznawczej, głównie wśród osób zdrowych (m.in. pamięci roboczej i długotrwałej, uwagi, zdolności uczenia się czy podejmowania decyzji) [30–34];
- 2) szeroko pojęta neurorehabilitacja, rozumiana jako oddziaływanie lecznicze skierowane do osób przejawiających deficyty poznawcze [35–37].

Drugie podejście bazuje na zjawisku neuroplastyczności mózgu, jego podstawa jest założenie, że wielokrotna stymulacja mózgu będzie prowadzić do trwałych zmian w funkcjonowaniu człowieka [35–37].

Dotychczasowe doniesienia dotyczące stymulacji stałoprądowej w neurorehabilitacji wskazują, że jest to metoda o dużym potencjale rehabilitacyjnym i szerokim zakresie stosowania. Jednak potrzebne są dalsze badania w tym zakresie [25, 11].

## tDCS U PACJENTÓW Z AFAZJĄ PO UDARZE MÓZGU

U chorych po udarze mózgu obserwuje się duże zróżnicowanie w zakresie zaburzeń aktywacyjnych [10]. Zgodnie z modelami zdrowienia osób po udarze niedokrwiennym, u których występuje afazja, po wczesnej fazie rozległej depresji aktywacyjnej obserwuje się u nich stopniowe zmiany aktywacyjne w systemach neuronalnych [11]. Wtedy właśnie ustalają się nowe relacje aktywacyjne między zachowanymi częściami sieci neuronalnych. Opierają się one na interakcjach wzbudzenie-hamowanie [24, 25]. Najwięcej korzystnych zmian zaczyna się w fazie podostrej udaru (ok. 2 tygodnie po zachorowaniu). Uruchomione wówczas procesy samonaprawcze mogą doprowadzić do znacznego zniesienia nieprawidłowości w obszarze aktywacyjnym. W niewielkich ogniskach udarowych może nastąpić nawet samoistne znormalizowanie poziomów aktywacji mózgowej, co skutkuje poprawą funkcjonalną. Z kolei przy dużych uszkodzeniach struktur mózgowych mogą utrwalić się wzorce hiperaktywacji półkuli zdrowej oraz hipoaktywacji zdrowej półkuli, co może prowadzić do znacznego rozregulowania czynności uszkodzonych obwodów neuronalnych i nasilania dysfunkcji. Ponadto wydłużające się nadmierne przespoidłowe hamowanie „słabszej” półkuli przez półkulę nadaktywną stabilizuje ją we wzorcu niedostatecznego wzbudzenia. Osłabia to procesy samonaprawcze w obszarze hipoaktywnej półkuli [11, 38, 39].

Aby zmniejszyć destrukcyjne różnice aktywacyjne między półkulami, można zastosować stymulację podwyższającą poziom wzbudzenia półkuli uszkodzonej, umieszczając nad nią anodę i/lub stymulację zmniejszającą pobudliwość półkuli hiperaktywnej poprzez przyłożenie katody [40, 41]. Hesse i wsp. [42] prowadzili badania u pięciorga pacjentów z afazją po udarze. Do 30 sesji rehabilitacji ruchowej dołączono 7-minutową stymulację tDCS (1,5 mA), anodę umieszczono nad uszkodzoną półkulę w rejonie kory ruchowej (według schematu EEG 10/20 pole nad C3/C4), natomiast katoda była umieszczona w przeciwległym regionie nadoczodołowym (SO). Odnotowano poprawę w zakresie funkcji językowych mierzonych przy pomocy testu afazji u czworga z pięciorga pacjentów. Z kolei w badaniach Monti i wsp. [43] stymulacji poddano sześcioro pacjentów. Katodę umieszczono w obszarze Broki (przecięcie między T3-Fz i F7-Cz według schematu EEG 10/20), anoda z kolei była umieszczona na przedramieniu. Stymulacja o natężeniu 2 mA trwała 10 minut. Odnotowano poprawę w zakresie mowy – większą dokładność nazywania w aktywnej stymulacji niż przy placebo. Przy stymulacji okolicy Broki zaobserwowano poprawę dokładności nazywania o 34%. Marangolo i wsp. [44] również stymulowali okolicę Broki (pole F5). Badani uczestniczyli w pięciu sesjach anodowych po 20 minut każda, natężenie prądu wynosiło 1 mA. Odnotowano u wszystkich (trzech) badanych poprawę funkcji językowych (powtarzanie, nazywanie, pisanie, też w odroczeniu). Podobne rezultaty uzyskał Fiori z zespołem [45], badając siedem osób w fazie przewlekłej udaru – anoda nad F5, pięć 20-minutowych sesji, natężenie prądu 1 mA. W wyniku stymulacji odnotowano poprawę w zakresie funkcji językowych.

Interesujące badania prowadził również Marangolo ze swoim zespołem [46], który terapią objął 12 pacjentów z afazją. Oprócz samej stymulacji (anoda na F5, okolica Broki lub na CP5, obszar Wernickego; katoda: prawy region nadoczodołowy (SO); 10 sesji po 20 minut, 1 mA) prowadzone

była również terapia językowa/konwersacyjna. Odnotowano poprawę w zakresie funkcji językowych, głównie mowy spontanicznej. Ponadto stwierdzono, że stymulacja anodowa okolicy Broki daje większą poprawę niż stymulacja okolicy Wernickiego. Po miesiącu poprawa nadal była utrzymywana. Podobne rezultaty uzyskał inny zespół badawczy [47], który stymulacją objął 12 osób z afazją. W trakcie stymulacji tDCS (20 sesji po 20 minut, 1,2 mA; anoda: obszar Wernickiego, między T3-P3 i C3-T5; katoda umocowana na przedramieniu) prowadzono również terapię językową. Zaobserwowano istotniejszą poprawę w zakresie nazywania obrazów i rozumienia słuchowego przy realnej stymulacji niż przy stosowaniu placebo.

Inne doniesienia wskazują również na wartość stymulacji katodowej u pacjentów, którzy doznali afazji w wyniku udaru mózgu. 37 pacjentów zostało poddanych stymulacji katodowej (katoda: między T4-Fz i F8-Cz; anoda: SO; 10 sesji, 20 minut, 1 mA) oraz treningowi mowy (30 minut dziennie). Odnotowano znaczącą poprawę w zakresie mowy mierzonoj Koreańską Wersją Zachodniej Baterii Afazji (K-WAB). Najlepsze rezultaty uzyskały osoby z łagodną afazją płynną, u których leczenie rozpoczęło się do 30. dnia od udaru [48]. Podobne pozytywne rezultaty były udziałem także m.in. Kanga z zespołem [49] czy Rossa wraz z współpracownikami [50], którzy stymulowali katodowo okolice Broki oraz zapewniali badanym terapię językową. Warto zwrócić jeszcze uwagę na wyniki otrzymane przez You i jego zespół [51]. Osoby badane po zakończeniu aktywnej stymulacji uzyskiwały lepsze wyniki w zakresie słuchowego rozumienia werbalnego i płynności fluencji słownej w porównaniu do pacjentów objętych placebo. Ponadto uzyskano znacznie lepsze wyniki w zakresie rozumienia słuchowego u pacjentów leczonych katodą (katoda umieszczona na CP6, obszar Wernickiego; 10 sesji, 30 minut, 2 mA).

Stosunkowo niewiele jest doniesień na temat możliwości poprawy funkcjonowania poznawczego osób z afazją poudarową przy pomocy stymulacji tDCS. Badacze zazwyczaj skupiają się u osób po udarach na usprawnieniu ich funkcji motorycznych oraz na wspomnianych już zaburzeniach funkcji poznawczych w zakresie funkcji językowych. Badania prowadzone u 24 osób z afazją, w przewlekłej fazie udaru, wykazały, że dzięki stymulacji anodowej po stronie uszkodzonej kory ruchowej (pole C3/C4) oprócz zamierzonej poprawy motorycznej występuje również poprawa kognitywna (w zakresie pamięci, uwagi, uczenia się). U badanych osób poprawiły się wyniki w MMSE oraz w zmodyfikowanej wersji Kart Wisconsin [52]. W innych badaniach z kolei odnotowano poprawę w zakresie pamięci roboczej (w porównaniu do grupy, która otrzymywała placebo) u 10 osób z afazją [53]. Badani byli poddawani jednej 30-minutowej stymulacji tDCS (anoda po stronie nieuszkodzonej, pole F3/F4, 2 mA). Wyniki uzyskane przez Parka, Kima i Songa [54], którzy stymulacji poddali 11 osób z afazją poudarową (anoda bilateralnie DLPFC, katoda – po stronie niedominującej; 18 sesji, 30 min, 2 mA), świadczyły o poprawie u osób, którym zapewniono „prawdziwą” stymulację w porównaniu do osób otrzymujących placebo w obszarach związanych z: pamięcią werbalną, pamięcią wzrokowo-przestrzenną, uwagą, koordynacją wzrokowo-przestrzenną. Są to obszary, których funkcjonowanie najczęściej ulega pogorszeniu na skutek udaru.

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przechczaszkowa stymulacja prądem stałym jest nadal weryfikowaną eksperymentalnie metodą wspomagania terapii dysfunkcji poznawczych u chorych z uszkodzeniem mózgu. W przedstawionych powyżej schematach eksperymentalnych wykazano korzystny wpływ elektrostymulacji stałoprądowej na poprawę funkcjonowania pacjentów z afazją po udarach mózgu. Zaobserwowano pozytywny wpływ nawet jednorazowych zabiegów tDCS. Najwięcej uwagi w dotychczasowych badaniach poświęcono funkcjom językowym i mowie, ponieważ to właśnie te obszary jawią się jako najbardziej obniżające jakość życia pacjentów. W przytoczonych doniesieniach odnotowuje się poprawę w funkcjonowaniu językowym pacjentów poddawanych stymulacji ukierunkowanej na ten aspekt funkcjonowania, ale również jest to „efekt uboczny” stymulacji obszarów odpowiedzialnych za funkcje motoryczne. Zdecydowanie mniej jest doniesień na temat usprawniania innych funkcji poznawczych, takich jak: uwaga, pamięć, zdolność uczenia się u pacjentów afatycznych. Zarazem przytoczone badania potwierdzają korzystny wpływ stymulacji przenoszący się na różne sfery funkcjonowania, nawet bez prowadzenia dodatkowych treningów neurorehabilitacji. W niniejszej metodzie można upatrywać duży potencjał, w szczególności w obszarze psychologii, neurologii i geriatrici. Biorąc pod uwagę dane statystyczne oraz prognozy demograficzne, należy stwierdzić, iż uwiadcza się trend starzenia się społeczeństwa. Co za tym idzie – zwiększa się liczba udarów mózgu. Przechczaszkowa stymulacja prądem stałym może być wykorzystywana m.in. jako pozafarmakologiczna metoda wspomagająca leczenie w udarach mózgu.

Jednocześnie mimo obiecujących doniesień w zakresie neurorehabilitacji z wykorzystaniem stymulacji stałoprądowej metoda ta wciąż ma status działań eksperymentalnych i wymaga dalszych działań badawczych [25, 11]. Wśród ograniczeń dotychczasowych badań należy wymienić: małe grupy pacjentów, liczące zazwyczaj kilka lub kilkanaście osób, niewiele doniesień na temat długoterminowych oddziaływań – często podawane wyniki badań dotyczą bezpośrednich efektów pojedynczej stymulacji. Stosunkowo niewiele informacji pojawia się również na temat zależności dawka–odpowiedź oraz skuteczności w kontinuum choroby. Celem przyszłych badań powinna być dalsza weryfikacja skuteczności tej metody oraz prowadzenie działań interdyscyplinarnych, pozwalających na pełniejsze wykorzystanie potencjału przechczaszkowej stymulacji prądem stałym.

## PIŚMIENICTWO

1. Fregni F, Pascual-Leone A. Technology Insight: noninvasive brain stimulation in neurology—perspectives on the therapeutic potential of rTMS and tDCS. *Nat Rev Neurol*. 2007; 3(7): 383–93. <https://doi.org/10.1038/ncpneuro0530>
2. Narodowy Fundusz Zdrowia, Statystyka JGP <http://prog.nfz.gov.pl/app-jgp/AnalizaPrzekrojowa.aspx> (dostęp: 2019.02.10)
3. Raciborski F, Gujski M, red. Udary mózgu: rosnący problem w starzejącym się społeczeństwie. Raport Instytutu Ochrony Zdrowia. Warszawa: Instytut Ochrony Zdrowia; 2016.
4. Kaźmierczak M, Wichurska K. Dynamika obrazu zaburzeń mowy u pacjentki po udarze niedokrwiennym mózgu – opis przypadku. *Otorynolaryngologia* 2018; 17(2): 72–79.
5. Miguła B. Afazja jako zaburzenie mowy po udarze mózgu: studium przypadku. *Logopedia Silesiana* 2015; 4: 395–405.

6. Saunders NLJ, Summers MJ. Longitudinal deficits to attention, executive, and working memory in subtypes of mild cognitive impairment. *Neuropsychology* 2011; 25(2): 237–248. <https://doi.org/10.1037/a0021134>
7. Jodzio K, Biechowska D, Szurowska E. Neuropsychologiczna ocena zaburzeń kontroli wybranych funkcji poznawczych i motorycznych po udarze mózgu. *Post Psychiatr Neurol*. 2011; 20(4): 251–257.
8. Kot-Bryćko K, Pietraszkiewicz F. Psychologia w medycynie. Część 2 – rehabilitacja neuropsychologiczna po udarze mózgu. *Med Og Nauk Zdr*. 2012; 18(4): 344–347.
9. Herzyk A, Wydawnictwo Naukowe Scholar. Wprowadzenie do neuropsychologii klinicznej. Warszawa: Scholar; 2015.
10. Fregni F, Pascual-Leone A. Technology Insight: noninvasive brain stimulation in neurology—perspectives on the therapeutic potential of rTMS and tDCS. *Nat Rev Neurol*. 2007; 3(7): 383–393. <https://doi.org/10.1038/ncpneu0530>
11. Polanowska K, Seniów J. Wpływ przechczaszkowej stymulacji prądem stałym na funkcjonowanie poznawcze chorych po uszkodzeniu mózgu. *Neurol Neurochir Pol*. 2010; 44(6): 580–590. [https://doi.org/10.1016/S0028-3843\(14\)60156-0](https://doi.org/10.1016/S0028-3843(14)60156-0)
12. Danowska M, Peychinska D. Post-stroke cognitive impairment – phenomenology and prognostic factors. *JofIMAB*. 2012; 18, 3: 290–297. <https://doi.org/10.5272/jimab.2012183.290>
13. Poulin V, Korner-Bitensky N, Dawson DR. Stroke-specific executive function assessment: A literature review of performance-based tools. *Aust Occup Ther J*. 2013; 60(1): 3–19. <https://doi.org/10.1111/1440-1630.12024>
14. Sabiniewicz M, Niwald M, Machnia M, Włodarczyk L, Miller E. Selected cognitive dysfunctions after brain stroke – clinical characteristics and diagnosis. *Aktual Neurol*. 2015; 15(1): 35–40. <https://doi.org/10.15557/AN.2015.0006>
15. Barbay M, Diouf M, Roussel M, Godefroy O. Systematic Review and Meta-Analysis of Prevalence in Post-Stroke Neurocognitive Disorders in Hospital-Based Studies. *Dement Geriatr Cogn Disord*. 2018; 46(5–6): 322–34. <https://doi.org/10.1159/000492920>
16. van Dijk EJ, de Leeuw FE. Recovery after stroke: more than just walking and talking again *If you don't look for it, you won't find it*: Editorials. *Eur J Neurol*. 2012; 19(2): 189–90. <https://doi.org/10.1111/j.1468-1331.2011.03520.x>
17. Jankowska A, Klimkiewicz R, Kubsik A, Klimkiewicz P, Woldańska-Okońska M, Śmięgielski J. Location of the ischemic focus in rehabilitated stroke patients with impairment of executive functions. *Adv Clin Exp Med*. 2017; 26(5): 767–76. <https://doi.org/10.17219/acem/63138>
18. Mark VW. Stroke and Behavior. *Neurologic Clinics*. 2016; 34(1): 205–34. <https://doi.org/10.1016/j.ncl.2015.08.009>
19. Maruszewski M. Afazja: zagadnienia teorii i terapii. PWN, 1966.
20. Maruszewski M. Mowa a mózg: zagadnienia neuropsychologiczne. PWN, 1970.
21. Ryglewicz D, Milewska D. Epidemiologia afazji u chorych z udarem mózgu. *Udar mózgu: problemy interdyscyplinarne*. 2004; 6(2): 65–70.
22. Pąchalaska M. Neuropsychologiczna diagnostyka afazji. W: Gałkowski T, Szelaż E, Jastrzębowska G. *Podstawy neurologopedii: podręcznik akademicki*. Opole: Wydawnictwo Uniwersytetu Opolskiego; 2005, p. 750–845.
23. Fonseca J, Ferreira JJ, Pavão Martins I. Cognitive performance in aphasia due to stroke: a systematic review. *IJDHD*. 2017; 16(2). <https://doi.org/10.1515/ijhd-2016-0011>
24. Rijntjes M. Mechanisms of recovery in stroke patients with hemiparesis or aphasia: new insights, old questions and the meaning of therapies. *Curr Opin Neurol*. 2006; 19(1): 76–83. DOI: 10.1097/01.wco.0000203886.28068.38
25. Budzisz J, Szczepanowski R, Kruk P. Przechczaszkowa stymulacja stałoprądowa tDCS w badaniach naukowych mózgu człowieka. *PE*. 2017; 1(4): 44–47. <https://doi.org/10.15199/48.2017.04.11>
26. Pąchalaska M, Kaczmarek BLJ, Kropotow ŪD, Brown JW, Wydawnictwo Naukowe PWN. *Neuropsychologia kliniczna: od teorii do praktyki*. Warszawa: PWN; 2019.
27. Woods AJ, Martin D M. Clinical Research and Methodological Aspects for tDCS Research. In: Brunoni A, Nitsche M, Loo C, red. *Transcranial Direct Current Stimulation in Neuropsychiatric Disorders* Cham: Springer International Publishing; 2016, p. 393–404. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-33967-2>
28. Lang N, Siebner HR, Ward NS, Lee L, Nitsche MA, Paulus W, i in. How does transcranial DC stimulation of the primary motor cortex alter regional neuronal activity in the human brain?: tDCS-induced changes of rCBF. *Eur J Neurosci*. 2005; 22(2): 495–504. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2005.04233.x>
29. Stagg CJ, Nitsche MA. Physiological Basis of Transcranial Direct Current Stimulation. *NRO*. 2011; 17(1): 37–53. <https://doi.org/10.1177/1073858410386614>
30. Hauser TU, Rotzer S, Grabner RH, Méritat S, Jäncke L. Enhancing performance in numerical magnitude processing and mental arithmetic using transcranial Direct Current Stimulation (tDCS). *Front Hum Neurosci*. 2013; 7. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00244>
31. Hoy KE, Emmonson MRL, Arnold SL, Thomson RH, Daskalakis ZJ, Fitzgerald PB. Testing the limits: Investigating the effect of tDCS dose on working memory enhancement in healthy controls. *Neuropsychologia*. 2013; 51(9): 1777–1784. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.05.018>
32. Javadi AH, Cheng P. Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) Enhances Reconsolidation of Long-Term Memory. *Brain Stimul*. 2013; 6(4): 668–674. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2012.10.007>
33. Minati L, Campanhã C, Critchley HD, Boggio PS. Effects of transcranial direct-current stimulation (tDCS) of the dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) during a mixed-gambling risky decision-making task. *Cogn Neurosci*. 2012; 3(2): 80–88. <https://doi.org/10.1080/17588928.2011.628382>
34. Ruf SP, Fallgatter AJ, Plewnia C. Augmentation of working memory training by transcranial direct current stimulation (tDCS). *Sci Rep*. 2017; 7(1): 876. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01055-1>
35. Kuo M-F, Mosayebi M, Jamil A, Nitsche MA. S181. Optimizing the neuroplastic effects of cathodal transcranial direct current stimulation (tDCS) over the primary motor cortex. *Clin Neurophysiol*. 2018; 129: e209. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2018.04.541>
36. Samani MM, Agboada D, Jamil A, Kuo M, Nitsche M. Cathodal Transcranial Direct Current Stimulation over the Primary Motor Cortex Induces Nonlinear Neuroplasticity with Modulations of Intensity and Duration. *Brain Stimul*. 2019; 12(2): 405. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2018.12.309>
37. Venkatakrishnan A, Sandrini M. Combining transcranial direct current stimulation and neuroimaging: novel insights in understanding neuroplasticity. *J Neurophysiol*. 2012; 107(1): 1–4. <https://doi.org/10.1152/jn.00557.2011>
38. Saur D. Dynamics of language reorganization after stroke. *Brain*. 2006; 129(6): 1371–1384. <https://doi.org/10.1093/brain/awl090>
39. Webster BR, Celnik PA, Cohen LG. Noninvasive brain stimulation in stroke rehabilitation. *NeuroRX*. 2006; 3(4): 474–481. <https://doi.org/10.1016/j.nurx.2006.07.008>
40. Brunoni A, Nitsche M, Loo C (red.). *Transcranial Direct Current Stimulation in Neuropsychiatric Disorders*. Cham: Springer International Publishing; 2016.
41. Nitsche MA, Cohen LG, Wassermann EM, Priori A, Lang N, Antal A, i in. Transcranial direct current stimulation: State of the art 2008. *Brain Stimul*. 2008; 1(3): 206–223. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2008.06.004>
42. Hesse S, Werner C, Schonhardt EM, Bardeleben A, Jenrich W, Kirker SG. Combined transcranial direct current stimulation and robot-assisted arm training in subacute stroke patients: a pilot study. *Restor Neurol Neurosci* 2007; 25: 9–15. <https://doi.org/10.1177/1545968311413906>
43. Monti A, Cogiமானian F, Marceglia S, Ferrucci R, Mameli F, Mrakic-Sposta S, et al. Improved naming after transcranial direct current stimulation in aphasia. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2008; 79(4): 451–453. <http://dx.doi.org/10.1136/jnnp.2007.135277>
44. Marangolo P, Marinelli CV, Bonifazi S, Fiori V, Ceravolo MG, Provinciali L, et al. Electrical stimulation over the left inferior frontal gyrus (IFG) determines long-term effects in the recovery of speech apraxia in three chronic aphasics. *Behav Brain Res*. 2011; 225(2): 498–504. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2011.08.008>
45. Fiori V, Cipollari S, Di Paola M, Razzano C, Caltagirone C, Marangolo P. tDCS stimulation segregates words in the brain: evidence from aphasia. *Front Hum Neurosci* 2013; 7: 269. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00269>
46. Marangolo P, Fiori V, Calpagnano MA, Campana S, Razzano C, Caltagirone C, et al. tDCS over the left inferior frontal cortex improves speech production in aphasia. *Front Hum Neurosci*. 2013; 7: 539. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00539>
47. Wu D, Wang J, Yuan Y. Effects of transcranial direct current stimulation on naming and cortical excitability in stroke patients with aphasia. *Neurosci Lett*. 2015; 589: 115–120. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2015.01.045>
48. Jung I-Y, Lim JY, Kang EK, Sohn HM, Paik N-J. The Factors Associated with Good Responses to Speech Therapy Combined with Transcranial Direct Current Stimulation in Post-stroke Aphasic Patients. *Ann Rehabil Med*. 2011; 35(4): 460. <https://doi.org/10.5535/arm.2011.35.4.460>

49. Kang EK, Kim YK, Sohn HM, Cohen LG, Paik N-J. Improved picture naming in aphasia patients treated with cathodal tDCS to inhibit the right Broca's homologue area. *Restor Neurol Neurosci.* 2011; 29(3): 141–52. DOI: 10.3233/RNN-2011-0587
50. Rosso C, Perlberg V, Valabregue R, Arbizu C, Ferrieux S, Alshawan B, et al. Broca's Area Damage is Necessary but not Sufficient to Induce After-effects of cathodal tDCS on the Unaffected Hemisphere in Post-stroke Aphasia. *Brain Stimul.* 2014; 7(5): 627–35. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2014.06.004>
51. You DS, Kim D-Y, Chun MH, Jung SE, Park SJ. Cathodal transcranial direct current stimulation of the right Wernicke's area improves comprehension in subacute stroke patients. *Brain Lang.* 2011; 119(1): 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2011.05.002>
52. D'Agata F, Peila E, Cicerale A, Caglio MM, Caroppo P, Vighetti S, et al. Cognitive and Neurophysiological Effects of Non-invasive Brain Stimulation in Stroke Patients after Motor Rehabilitation. *Front Behav Neurosci.* 2016; 10: 135. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2016.00135>
53. Jo JM, Kim Y-H, Ko M-H, Ohn SH, Joen B, Lee KH. Enhancing the Working Memory of Stroke Patients Using tDCS. *Am J Phys Med Rehabil.* 2009; 88(5): 404–409. <https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e3181a0e4cb>
54. Park SD, Kim JY, Song HS. Effect of application of transcranial direct current stimulation during task-related training on gait ability of patients with stroke. *J Phys Ther Sci.* 2015; 27(3): 623–625. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.623>