Neuroplastyczność i związane z nią procesy naprawcze w przebiegu usprawniania po udarze mózgu z uwzględnieniem Terapii Ruchem Wymuszonym Koniecznością

The effects of post stroke rehabilitation-Constraint-Induced Movement Therapy in relation to neuroplasticity recovery processes

Marta Sidaway ^{1,2}, Edyta Czernicka ², Arkadiusz Sosnowski¹

¹Akademia Wychowania Fizycznego, Wydział Rehabilitacji, Katedra Fizjoterapii

²Instytut Psychiatrii i Neurologii ul. Sobieskiego 1 Warszawa

Streszczenie

Neuroplastyczność jest zjawiskiem powszechnym w działaniu układu nerwowego, a samoistne i spontaniczne zdrowienie jest normą we wczesnym okresie poudarowym. Zmiany plastyczne leżą u podstaw przywracania funkcji po uszkodzeniu mózgu. Reprezentacje czuciowe i ruchowe pól korowych mogą być modyfikowane przez dopływ bodźców ze środowiska. Odpowiednio dobrane strategie postępowania fizjoterapeutycznego mają wpływ na spontaniczną neuroplastyczność. Przedstawiono podstawowe założenia działań terapeutycznych mających korzystny wpływ, na omawiane zjawisko reorganizacji układu nerwowego oraz uczenia się kontekstualnego, szczególnie w odniesieniu do zagadnienia Terapii Ruchem Wymuszonym Koniecznością. Opisano protokół Tauba dotyczący tej terapii oraz stanowiący jej podwalinę zespół wyuczonego nieużywania. Przybliżono zagadnienie shapingu i praktyki zadaniowej (ćwiczeń zadaniowych). Głównym celem opisywanej terapii jest przywrócenie spontanicznego i automatycznego wykorzystania kończyny niedowładnej w czynnościach dnia codziennego.

Na zjawisko plastyczności istotny wpływ mają: wzbogacone środowisko, odległość czasu od zachorowania, liczba powtórzeń zadań ruchowych oraz znajomość wykonywanych czynności co potwierdzają dowody naukowe.

Prawidłowo prowadzona terapia pozwala przenieść osiągnięte umiejętności poza ściany kliniki i przyczynia się do funkcjonalnej niezależności pacjentów.

Słowa kluczowe:

udar mózgu, reorganizacja korowa, uczenie się, fizjoterapia, zespół wyuczonego nieużywania

Abstract

Neuroplasticity is a widespread phenomenon in the operation of the nervous system, and spontaneous recovery is the norm in the early post stroke period. Plastic changes (cortical reorganization) are common and necessary for post brain injury recovery. Representations of sensory and motor cortical areas may be modified by the inflow of environmental stimuli during learning and memory processes (developmental plasticity), and post stroke compensatory plasticity, post injury. Physiotherapy strategies used during recovery process affect the spontaneous neuroplasticity. Basic assumptions were made regarding the therapeutic effects and positive impact on the phenomenon of the nervous system reorganization, especially in relation to Constraint-Induced Movement therapy and contextual learning. Scientific evidence suggests the impact of the enriched

environment, according to the time of onset, number of repetitions, and knowledge of their operations, on the phenomenon of plasticity. Taub describes treatment protocol and constitutes the cornerstone of the learned non-use syndrome, bringing closer the issue of shaping and task practice. The main objective of the described treatment is to restore spontaneous and automatic use of the paretic limb in daily activities. The phenomenon of plasticity is largely affected by: enriched environment, the distance of time from the onset, the number of repetitions, motor tasks and knowledge of their operations as evidenced by scientific evidence. A properly carried out treatment achieves skills by allowing rehabilitation to move beyond the walls of the clinic and this contributes to the functional independence of patients.

Keywords: stroke, cortical reorganisation, learning processes, physiotherapy, non-use syndrome

Wstęp

Udar mózgu jest jedną z głównych przyczyn zachorowalności i śmiertelności wśród populacji na świecie, a także stanowi jedną z głównych przyczyn długotrwałej niesprawności. Według danych epidemiologicznych, co szósta osoba na świecie umiera z powodu udaru mózgu. Rocznie jest to ok. 5,5 milionów osób, stanowiąc tym samym drugą pod względem częstości przyczynę zgonów [1, 2]. W Polsce szacuje się, że na udar mózgu choruje ponad 60 000 osób rocznie [2, 3].

Zawał mózgu przyczynia się do powstawania niepełnosprawności jak i zmniejszenia samodzielności osób dorosłych. Ocenia się, że ok. 50 milionów ludzi na świecie po przebytym udarze posiada deficyty neurologiczne (ruchowe, poznawcze, emocjonalne), ograniczające ich samodzielność [3]. Chorzy są częściowo lub w pełni zależni od opiekunów w czynnościach życia codziennego (ang. activities of daily life- ADL) [4, 5]. W Europie w populacji ludzi po 40 roku życia największą grupę chorych trwale niepełnosprawnych ruchowo, stanowią pacjenci po udarze mózgu.

W ostatnich latach rozwój nauk zajmujących się neuroplastycznością wykazał, iż mózg zdrowego dorosłego człowieka wciąż ulega zmianom w wyniku zdobywania nowych doświadczeń. Pod koniec lat dziewięćdziesiątych poprzedniego stulecia udowodniono, że w dojrzałym mózgu ludzkim powstają nowe neurony i ich odgałęzienia przebudowujące sieć synaptyczną [6]. Jeżeli człowiek powtarza pewną, trudną, wyuczoną czynność regularnie, to powiększa się jego korowa reprezentacja dla części ciała, która w tym uczestniczy. Zostało to zaobserwowane np. u muzyków grających na instrumentach smyczkowych, u których reprezentacja korowa palców lewej dłoni uległa powiększeniu. Podobnie powiększa się korowa reprezentacja palców ludzi niewidomych posługujących się alfabetem Braille'a [7].

Zarejestrowane zmiany plastyczne u zdrowych ludzi zainspirowały badaczy do analizowania zmian, jakie zachodzą w uszkodzonym ośrodkowym układzie ner-

wowym, a w szczególności wpływu na nie, prowadzonej terapii [8, 9]. Funkcjonalne mapowanie, za pomocą przezczaszkowej stymulacji magnetycznej (TMS) oraz funkcjonalnego rezonansu magnetycznego (fMRI), zarejestrowało proces czynnościowego przeorganizowania map korowych u osób po uszkodzeniu mózgu [9].

Potwierdzono, więc odkrycia Merzenich i wsp. mówiące o tym, że reprezentacje czuciowe i ruchowe pól korowych, mogą być modyfikowane przez dopływ bodźców w trakcie doświadczeń uczenia się, a także po uszkodzeniu mózgu [10, 11, 12].

Neurofizjologiczne podstawy plastyczności

Mechanizmy neurologicznego powrotu funkcji po udarze są wciąż niewystarczająco zrozumiałe i możliwe, że jest w to włączony więcej niż jeden proces neurofizjologiczny.

Zmiany w obrębie ischemicznej penumbry (strefy półcienia) graniczącej z ogniskiem uszkodzenia rozpoczynają się stosunkowo szybko po zachorowaniu, dając objawy wczesnego zdrowienia. Poprawa utraconych funkcji może być obserwowana przez długi czas po wystąpieniu udaru (zwykle trwa kilka miesięcy, osiągając pewien poziom plateau). Obecnie uznaje się, że czas reorganizacji neuronalnej po udarze zdecydowanie przekracza, kiedyś sztywno rozumiane okno terapeutyczne (średnio do ok. 6 miesięcy od zachorowania) [12]. Samoistne zdrowienie jest normą po udarze [6]. Niekiedy powrót funkcji motorycznych może być spektakularny. Im krótszy czas od zachorowania, tym intensywność zmian i ich szybkość jest większa. W niektórych przypadkach, w których pierwotnie wystąpił niewielki deficyt ośrodkowy, można spodziewać się nawet całkowitego powrotu funkcji ruchowych. U osób z większym uszkodzeniem motorycznym powrót funkcji jest często niesatysfakcjonujący. Dowody naukowe wskazują, że neuroplastyczny potencjał posiadają pacjenci niezależnie od wieku i czasu od zachorowania oraz, że cele terapeutyczne osiągnąć są

również u pacjentów z początkowo dużym niedowładem [13, 14, 15, 16, 17, 18]. Odzyskiwanie utraconych funkcji związane jest z przepięwowaniem mózgu w procesie synaptogenezy obszaru graniczącego, z uszkodzoną przez udar tkanką mózgową, jak również w kontralateralnej do uszkodzenia półkuli [6].

W ostatniej dekadzie analiza zagadnień funkcjonalnej plastyczności po doznanym uszkodzeniu układu nerwowego i szeroko rozumiana neurorehabilitacja idą w parze. Stało się to między innymi przyczyną tego, że w latach osiemdziesiątych poprzedniego wieku odstąpiono od twierdzeń dotyczących stałości struktury i funkcji mózgu człowieka. Jednocześnie skierowano się ku teorii mówiącej o spontanicznej oraz spowodowanej uczeniem się (nauczaniem) motorycznym (ang. motor learning), reorganizacji ośrodkowego układu nerwowego, będącej efektem usprawniania fizjoterapeutycznego, w przypadkach ośrodkowego lub obwodowego uszkodzenia układu nerwowego [8].

Obecnie wiadomo, że genetyka jest podstawą tworzenia wzorca połączeń pomiędzy ośrodkami w układzie nerwowym, jednakże przez całe życie osobnicze dochodzi do ich modyfikacji. Powstają nowe neurony, rosną ich odgałęzienia i przebudowuje się sieć synaptyczna [19].

Współczesne teorie zapoczątkowała w 1949 roku teoria Hebb'a, mówiąca o tym, że do zmiany siły połączeń między neuronami niezbędne jest skuteczne i powtarzalne pobudzenie neuronu postsynaptycznego przez presynaptyczny. Doświadczenia pokazały, że ocalałe aksony mają tendencję do tworzenia nowych synaps, z preferencją do tworzenia synaps przez włókna homologiczne do uszkodzonych [19].

Uszkodzenie nerwów czuciowych powoduje zmiany pól recepcyjnych neuronów kory somatosensorycznej. Reprezentacja uszkodzonej części ciała traci główne wejście zmysłowe w przebiegu deafferentacji. Już po kilkunastu minutach dotyk sąsiednich obszarów wywołuje odpowiedź neuronalną [11]. Pokazuje to, że w korze mózgowej istnieje rywalizacja pomiędzy sąsiednimi reprezentacjami receptorów zmysłowych. W skutek konkurencji dochodzi do kolonizacji wejść dotykowych obszarów sąsiednich do uszkodzonych [11].

Synaptogeneza po udarze mózgu, zaobserwowana w mózgach zwierzęcych, dotyczy nie tylko obszarów graniczących z uszkodzoną przez udar tkanką, ale także w przeciwległej półkuli mózgu w miejscach behawioralnie należących do poszkodowanych [20, 21]. Spontaniczna neuroplastyczność jest stymulowana przez działania neurorehabilitacyjne [6, 19, 22, 23].

Przywracanie funkcji niedowładnej kończyny górnej stanowi jedno z głównych wyzwań stojących przed leczeniem usprawniającym pacjentów po udarze. Strategia odtwarzania ruchu, wymaga odbudowania neuronalnych obwodów funkcjonalnych dla wznowienia

czynności motorycznych wywołanych uszkodzeniem obszarów niedokrwiennych [19]. Obrane strategie postępowania fizjoterapeutycznego mają wpływ na spontaniczną neuroplastyczność, przewidywalność i sterowalność procesu reorganizacji korowej [1]. Kumulacja zmian plastycznych uzależniona jest od ilości wykonywanych powtórzeń określonych kombinacji bodźców (konkretnych zadań ruchowych), ich intensywności oraz długości przerw pomiędzy nimi [24]. Jest to podstawa planowania udanych strategii terapeutycznych.

Terapia ruchem wymuszonym koniecznością (TRWK)

Jednym ze skutecznych sposobów intensywnego usprawniania pacjentów po udarze mózgu, któremu literatura poświęca dużo miejsca jest Terapia Ruchem Wymuszonym Koniecznością (TRWK) (ang. Constraint-Induced Movement Therapy CIMT lub CIT). Jest to rehabilitacyjne, behawioralne podejście wywodzące się z nauk o układzie nerwowym, usprawniające niedowładną kończynę górną z wykorzystaniem technik terapeutycznych, bazujących na intensywnym programie, ze szczególnym uwzględnieniem czynności dnia codziennego. Według Utley i Woll TRWK jest to „strategia” postępowania zaprojektowana, aby zaangażować pacjenta w takie czynności (ćwiczenia gimnastyczne, powtarzanie zadań życia codziennego), które nie pozwalają na dużą kompensację funkcji przez „zdrowe segmenty” ciała i jednocześnie zmuszają go do wykorzystania w celu realizacji zadania niedowładnej kończyny [25].

TRWK to pakiet terapeutyczny zawierający wiele różnych sposobów oddziaływań ruchowych i ich składowych. Najważniejszą innowacją TRWK jest zastosowanie kombinacji technik terapeutycznych w połączeniu z dużą intensywnością ćwiczeń ruchowych jak i ich systematycznością, tak aby „wymusić” przez okres 2-3 następujących po sobie tygodni, wielogodzinne wykorzystanie bardziej dotkniętej kończyny górnej [26].

TRWK na przestrzeni ponad dwudziestu lat ewoluowała i uległa wielu modyfikacjom, dzięki pojawiającym się nowym doniesieniom z wielu dziedzin nauki, chociażby z zakresu neuroplastyczności. Modyfikacje te dotyczą protokołu postępowania, a w szczególności: długości terapii, ilości godzin rehabilitacji w poszczególnych dniach, intensywności terapii, wyboru lepszego sposobu unieruchomienia zdrowej kończyny górnej podczas terapii (temblak, „rękawica” bez palców, bez unieruchomienia z zaleceniem nieużywania zdrowej kończyny) jak również zastosowania terapii sprzężonych [26].

Najbardziej znany protokół TRWK opisany przez Tauba (pioniera tej metody) oraz jego współpracowników posiada wiele sposobów usprawniania i ich składowych. Taub uważa, że najefektywniejsze są te programy terapeu-

tyczne, które stosują trzy komponenty programu TRWK:

1. Powtarzalny trening zorientowany na zadania czynności funkcjonalnych dla niedowładnej kończyny górnej (ang. repetitive task orientated training) ze szczególnym uwzględnieniem shapingu (kształtowania) i praktyki zadaniowej (ang. task practice) opartej na ćwiczeniach funkcjonalnych bazujących na czynnościach dnia codziennego. Shaping jest to powszechnie stosowane oddziaływanie, w którym ruch, jest doskonalony ćwiczeniami o stopniowo wzrastającej trudności. Pacjent jest nagradzany entuzjastyczną pochwałą za każdy postęp i nigdy nie jest obwiniany, ani tym bardziej karany za niepowodzenia. Ideą jest uzyskiwanie wzrostu poziomu motoryczności, choćby w małym zakresie, powyżej już osiągniętego. Terapia Ruchem Wymuszonym Koniecznością trwa zwykle od 10 do 15 następujących po sobie dni (zwykle bez sobót i niedziel) przez kilka godzin dziennie (zależnie od protokołu do 6 godzin).
2. „Pakiet przenośny” (ang. transfer package) polegający na zwiększonym zastosowaniu metod behawioralnych (np. monitorowanie, kontakt behawioralny, rozwiązywanie problemów, rozkład dnia) stworzonych w celu umożliwienia przeniesienia osiągnięć poczynionych w trakcie rehabilitacji do naturalnego otoczenia życia pacjenta.
3. Wymuszenie na pacjencie korzystania z niedowładnej kończyny górnej podczas czynności wykonywanych w trakcie dnia w okresie prowadzonej terapii (podczas spożywania posiłków, toalety, przebierania się) z zastosowaniem ograniczenia na kończynę w postaci np. temblaka lub rękawicy [20, 26].
Udowodniono, że TRWK przyczynia się do poprawy sprawności i większego wykorzystywania kończyny górnej w życiu codziennym [7, 10, 20, 22, 27].

Neuroplastyczność i procesy uczenia się w przebiegu TRWK

Dzięki postępowi metod diagnostycznych, a szczególnie sposobów nieinwazyjnego obrazowania mózgu, wykonano do tej pory wiele badań z udziałem osób po udarach mózgu, w tym przed i po zastosowaniu TRWK. Źródłem poprawy ruchowej jest reorganizacja pól korowych z udziałem tkanki otaczającej ognisko zawału, z wykorzystaniem pól dodatkowych w uszkodzonej jak i również przeciwległej półkuli [20]. Badacze uważają, iż zmiany w obszarach motorycznych obręczy są spowodowane wykorzystaniem i wzmocnieniem połączeń dla zadań ruchowych, które były wcześniej automatyczne, a co się z tym wiąże łatwe do wykonania i nie wymagały wysiłku intelektualnego.

Zmiany te korelowały ze zmianami w funkcjach motorycznych w wyniku terapii [12, 22, 27]. Dowody wska-

zują, że nawet proste ruchy powtarzane wielokrotnie mogą wymusić reorganizację korykalną [22, 28, 29, 30].

Wielu autorów, zgodnie z wiedzą z zakresu neurofizjologii uważa, iż ludzki mózg ma zdecydowanie większe możliwości plastyczne niż kiedyś przypuszczano [6, 12, 19]. Neuroobrazowanie zapewniło nam bogactwo wiedzy o obszarach mózgu w odniesieniu do poprawy funkcji po udarze [31, 32, 33, 34, 35].

Dzięki badaniom na zwierzętach stwierdzono wyraźne zmiany korowe w półkuli uszkodzonej, które pojawiają się jako odpowiedź na kompensację zachowania, czyli na nieużywanie niedowładnej kończyny [23]. Związane są one z wtórnym zmniejszeniem się powierzchni aktywnej kory i nie są bezpośrednio powiązane z uszkodzeniem. Stwierdzono również pojawianie się zmian w półkuli nieuszkodzonej, związane z nadmiernym użyciem zdrowej połowy ciała, polegającej na zwiększeniu powierzchni aktywnej, generującej ruch [21]. Efektem tego jest powstawanie spontanicznej kompensacji jaką jest zespół wyuczonego nieużywania (ang. non use syndrome). Opisana przez Morisa teoria „zespołu wyuczonego nieużywania” badana na populacji małp po zastosowaniu deafferentacji stała się podwaliną do stworzenia Terapii Ruchem Wymuszonym Koniecznością (TRWK) u pacjentów po przebytym udarze mózgu [36, 37].

W pierwszych miesiącach po udarze mózgu pacjenci często wykazują wiele cech zniechęcenia do intensywnej rehabilitacji (niezrozumienie choroby, szok, zespoły bólowe, duże wymagania terapeuty, nadopiekuńczość rodziny, depresja, itd.), które powodują, że chorzy zaczynają z czasem zastępować utraconą funkcję wykorzystywaniem tylko nieporażonej kończyny górnej. Bezpośrednią przyczyną tego jest nie tylko niedowład, ale także doznawane porażki i niepowodzenia podczas podejmowania prób ruchu niedowładną kończyną. Ponoszenie szeregu niepowodzeń, a z czasem zniechęcenie do korzystania z tej kończyny powoduje stosunkowo szybkie uczenie się jej nieużywania [26, 36, 38]. Pacjent nierzadko zachęcany jest w tym czasie przez inne osoby do używania sprawnej kończyny. Tak najprawdopodobniej wygląda mechanizm powstania u ludzi „zespołu wyuczonego nieużywania” po udarze mózgu.

Od pierwszych prób zastosowania przez Tauba TRWK na populacji małp, przeprowadzono wiele badań klinicznych z zastosowaniem tej terapii u pacjentów po udarze mózgu. W odniesieniu do przezwyciężenia zespołu wyuczonego nieużywania, można wysnuć hipotezę, że mechanizmy zdrowienia wzbudzają mózgowy potencjał do plastyczności i mogą pobudzać długoterminową poprawę ruchową [26].

Nieużywania kończyny „można się nauczyć” jak i można je przezwyciężyć stosując proste techniki behawioralne dla kończyny dotkniętej, takie jak np. shaping (wspomniany powyżej) [26, 36].

Jeśli zespół ten zostanie przezwyciężony, pacjent powinien odzyskać możliwość korzystania z gorszej kończyny. Należy jednak pamiętać, że w konsekwencji uszkodzenia mózgu nadal pozostanie deficyt ruchowy w postaci niedowładu i obniżenia sprawności funkcjonalnej różnego stopnia [24].

Głównym celem TRWK jest osiągnięcie możliwości spontanicznego wykorzystania kończyny górnej w czynnościach życia codziennego. W skutek TRWK rozmiar reprezentacji dla kończyny górnej dotkniętej w korze motorycznej badany przezczaszkową stymulacją magnetyczną (TMS) (ang. transcranial magnetic stimulation) koresponduje do rozmiaru zmian behawioralnych w życiu codziennym, co oznacza zwiększenie wykorzystania kończyny górnej w czynnościach życia codziennego (ADL), co potwierdza między innymi test Motor Activity Log (MAL) [22]. Badania pokazują, że w wyniku TRWK następuje reorganizacja mózgowa zależna od wykorzystania kończyny górnej, objawiająca się poprawą wykonania czynności dnia codziennego. Może być ona połączona ze znamienymi zmianami w tkankach strukturalnych w nieuszkodzonej części mózgu dorosłego człowieka. Pojawiająca się reorganizacja jest niezbędna do dokonywania i zachowania pamięci o nowo nabywanych umiejętnościach. Uruchamianie procesy adaptacyjne opierają się na mechanizmach naturalnej reorganizacji czynnościowej, która może być wspierana przez farmakoterapię, trening umiejętności z powtarzalnością określonych zachowań, realizowany przez terapię logopedyczną, neuropsychologiczną, terapię zajęciową oraz intensywną fizjoterapię.

Wpływ szeroko rozumianych oddziaływań rehabilitacyjnych na wzmacnianie i modyfikowanie plastyczności mózgowej coraz częściej jest potwierdzana przez dowody naukowe. Dzięki odpowiednio dobranym oddziaływaniom fizjoterapeutycznym potwierdzono odbudowę funkcji ruchowych w niedowładnych kończynach oraz proporcjonalną zależność funkcjonalnej poprawy od liczby godzin fizjoterapii [17, 39]. Eksperymentalne badania na zwierzętach po udarze mózgu, dowiodły, że wzbogacone środowisko ma korzystny wpływ na tempo uczenia się i powrót funkcji, utraconej w trakcie uszkodzenia [40, 41]. Umożliwiły również wprowadzenie nowych technik rehabilitacji sprzyjających powrotowi funkcji u pacjentów po udarze. Jeśli w sposób spontaniczny dochodzi do aktywacji podprogowo działających synaps oraz modyfikacji połączeń wewnątrzkorowych, to tym bardziej wskutek stymulacji modulującej zachowanie, czyli np. specyficznego usprawniania ruchowego możliwa jest odbudowa, utraconych w wyniku udaru mózgu, funkcji [6, 19].

Jedną z teorii, rozważających ludzki i zwierzęcy model behawioralny, uznaje kontekstowe uczenie się (ang. context learning) za czynnik kluczowy. Zostało zgodnie

pokazane, że jeśli informacja werbalna jest przekazywana w odpowiednim kontekście, to odzyskanie funkcji jest znamienne lepsze. Jasne polecenia słowne lub niewerbalne, wykorzystywane w życiu codziennym uruchamiają strategię wykonywania automatycznego danej czynności. Dla przykładu: znacznie łatwiejsze jest sprowokowanie pacjenta do wyciągnięcia kończyny porażonej przez podanie mu własnej ręki w geście powitania, niż wydawanie komendy „unieś rękę przed siebie do wysokości pasa”. Thomson i Tulving opisali powody dla tego transferu w uczeniu się. Koncepcja ta mówi, że wskazówki kontekstowe pomagają w odzyskiwaniu i dostarczaniu informacji z procesu kodowania [42]. Podobny efekt może występować podczas uczenia się motorycznego (ang. motor learning), co może mieć wpływ na przeniesienie efektów fizjoterapii na czynności dnia codziennego [43, 44]. Dowody potwierdzają pogląd, że umiejętności ruchowe jak i aktywności motoryczne z „prawdziwego świata” (z życia codziennego) są lepiej zapamiętywane, jeśli są wyuczone w naturalnym, a nie laboratoryjnym środowisku co jest uwzględnione min. w Terapii Ruchem Wymuszonym Koniecznością [24]. Pacjenci często pracują ze znanym im sprzętem, dla przykładu: grabie, drabina, deska do prasowania, kierownica czy szczotka do włosów.

Udowodniono, że instrukcje ruchu nakierowane na zadanie dadzą lepszy efekt w postaci sprawniejszego wykonania ruchu, a instrukcje skoncentrowane na poszczególnych składowych ruchu (np. wyprostuj palce, zegnij ramię) mogą wręcz powstrzymać wykonanie zadania. Badania sugerują, aby w terapii jakościowo skierować uwagę na zadanie (np. na kształt i rozmiar przedmiotu), co spowoduje pośrednio lepszą kinetykę ruchu.

TRWK wykorzystuje instrukcje słowne tak, że zadania nakierowane są zawsze na aktywność np. polecenie „otwórz i zamknij palce” zastępuje się instrukcją „chwyć butelkę” [24].

Niezwykle istotne jest kierowanie uwagi pacjenta na bodźce i ćwiczone zadanie ruchowe, gdyż wpływa to na aktywność synaptyczną, przyspieszając procesy powrotu funkcji [24].

Udowodniono, że nawet przy wyobrażaniu sobie wykonywanych czynności ruchowych, bądź obserwacji pożądanego ruchu u innych osób, dochodzi do aktywacji odpowiednich okolic czołowych, co wpływa na tworzenie się nowych połączeń synaptycznych [6, 19].

Terapia Ruchem Wymuszonym Koniecznością według jej twórców ustala most pomiędzy tym, co dzieje się w klinice, a tym, co pacjent prezentuje w domu.

Cele osiągane w warunkach klinicznych są przenoszone poza ściany kliniki i przyczyniają się do funkcjonalnej niezależności. Wielu pacjentów z dużym początkowym deficytem ruchowym (przed rozpoczęciem terapii) może mieć niewykorzystany potencjał do

usprawniania ruchowego, związany z zespołem wyuczonego nieużywania, który może być zniwelowany przez TRWK.

Na podstawie funkcjonalnych badań neuroobrazujących, zauważono wzrost ukrwienia określonych obszarów korowych, modulowany przez procesy uwagi wskutek intensywnej fizjoterapii. Bardzo pomocne w tym zakresie okazały się metody neuroobrazowania, szczególnie funkcjonalny rezonans magnetyczny, dzięki którym można jasno ustalić zachodzące zmiany w mózgu na skutek różnych oddziaływań.

W prawidłowo prowadzonym procesie usprawniania bodźce w postaci ćwiczeń (zadań motorycznych) powinny być tak dobrane by aktywować połączenia prawidłowe, a minimalizować błędne. Znamienne w procesie odtwarzania funkcji ruchowych jest stopniowanie narastania trudności co jak wspomniano ma miejsce w shapingu.

Wykazano, że większą poprawę uzyskuje się przy stosowaniu intensywnego funkcjonalnego treningu składającego się z powtarzalnych czynności o zwiększającej się trudności, gdyż bodźce zastosowane w tzw. terapii masowej (ang. mass practice) prowadzą do szybszej finalizacji prawidłowego procesu uczenia się.

Wnioski

Mechanizmy uczenia się oraz ich behawioralne i neurobiologiczne aspekty, w połączeniu z wiedzą dotyczącą zachowań motorycznych, powinny stanowić istotną część teorii neurorehabilitacyjnej.

Terapia Ruchem Wymuszonym Koniecznością posiada u swych podstaw dowody empiryczne. Stanowi przykład postępowania fizjoterapeutycznego opartego na uczeniu się motorycznym, które spełnia wymogi współczesnej nauki popartej dowodami.

Zastosowanie intensywnej i zindywidualizowanej do potrzeb pacjenta fizjoterapii, bazującej na shapingu i ćwiczeniach praktycznych, wpływa na reorganizację kortykalną, stanowiąc most pomiędzy pracą kliniczną i światem rzeczywistym.

Zasadne wydaje się poszukiwanie intensywnych programów usprawniania ruchowego z nakierowaniem na odtwarzanie funkcji ruchowych pacjentów, które w skuteczny i wydajny sposób zmniejszają deficyty motoryczne, a co więcej poprawiają stan funkcjonalny pacjentów i poprzez to wpływają na poprawę jakości ich życia.

Piśmiennictwo:

1. Szczudlik A, Członkowska A, Kwieciński H, Słowik A. Udar mózgu. Kraków: Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego; 2007.
2. Członkowska A, Ryglewicz D, Weissbein T, Barańska-Gieruszczak M, Hier DB. A prospective Community-Based Study of Stroke in Warsaw, Poland. *Stroke* 1994; 25:547-51.
3. Postępowanie po udarze mózgu. Wytyczne ekspertów Sekcji Chorób Naczyniowych Polskiego Towarzystwa Neurologicznego *Neurol Neuroch Pol* 2012; 46 Suppl 1.
4. Anderson CS, Linto J, Stewart-Wynne EG. A population-based assessment of the impact and burden of caregiving for long-term stroke survivors. *Stroke* 1995;26: 843-9.
5. Kalra L, Langhorne P. Facilitating recovery: evidence for organized stroke care. *J Rehabil Med* 2007;39:97-102.
6. Kossut M. Plastyczność mózgu po udarze – mechanizmy neuronalne. *Neurol Neuroch Pol* 2008; 42 Suppl 4: 290.
7. Mark VW, Taub E, Morris DM. Neuroplasticity and Constraint-Induced Movement therapy. *Eura Medicoophys* 2006;42:269-84.
8. Drozdowski W. Neuroplastyczność- znaczenie w terapii chorób układu nerwowego. *Terapia Numer specjalny kwiecień* 2010:17-22.
9. Chollet F, Weiller C. Imaging recovery of function following brain injury. *Curr Opin Neurobiol* 1994;4:226-30.
10. Morris DM, Grago J, DeLuca S, Pidikiti R, Taub E. Constraint-induced movement therapy for motor recovery after stroke. *Neuro Rehabilitation* 1997;9:29-43.
11. Merzenich MM. Topographic reorganization of somatosensory cortical areas 3b and 1 in adult monkeys following restricted deafferentation. *Neuroscience* 1983;8:33-55.
12. Kopp B, Kunkel A, Muhlneckel W, Villringer K, Taub E, Flor H. Plasticity in the motor system related to therapy-induced improvement of movement after stroke. *Neuroreport* 1999;10:807-10.
13. Kleim JA, Jones TA. Principles of experience-dependent neural plasticity: Implications for rehabilitation after brain damage. *Supplement. Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 2008;51:225-39.
14. Partridge C, Mackenzie M, Edwards S, Reid A, Jayawardena S, Guck N, et al. Is dosage of physiotherapy a critical factor in deciding patterns of recovery from stroke: a pragmatic randomized controlled trial. *Physiother Res Int* 2000;5(4):230-40.
15. Lincoln NB, Parry RH, Vass CD. Randomized, controlled trial to evaluate increased intensity of physiotherapy treatment of arm function after stroke. *Stroke* 1999;30:573-9.
16. Sunderland A, Tinson DJ, Bradley EL, Fletcher D, Langton Hewer R, Wade DT. Enhanced physical the-

- rapy improves recovery of arm function after stroke. A randomised controlled trial. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1992;55(7):530-5.
17. Kwakkel G, Wagenaar NC, Twisk JWR, Lankhorst GJ, Koetsier RC. Intensity of leg and arm training after primary middle-cerebral-artery stroke: a randomised trial. *Lancet* 1999;354:191-6.
 18. Feys HM, De Weerd WJ, Selz BE, Cox SG, Spichiger R, Vereeck LE, et al. Effect of a therapeutic intervention for the hemiplegic upper limb in the acute phase after stroke: a single-blind, randomized, controlled multicenter trial. *Stroke* 1998;29:785-92.
 19. Kossut M. Synapsy i plastyczność mózgu. In: Polskie i światowe osiągnięcia nauki. Nauki biologiczne. Oprac. zbiorowe. Gliwice : Fundacja im. Wojciecha Świątosławskiego na Rzecz Wspierania Nauki i Rozwoju Potencjału Naukowego w Polsce; 2010.p. 285-305.
 20. Taub E, Uswatte G, Pidikiti R. Constraint-induced movement therapy: A new family of techniques with broad application to physical rehabilitation-a clinical review. *J Rehabil Res Dev* Washington 1999;237-51.
 21. Jones TA, Chu C, Grande LA, Gregory A. Motor Skills Training Enhances Lesion-Introduced Structural Plasticity in the Motor Cortex of Adults Rats. *J Neurosci* 1999;15:10153-163.
 22. Liepert J, Bauder H, Miltner W, Taub E, Weiller C. Treatment-Induced Cortical Reorganization After Stroke in Humans. *Stroke* 2000;31:1210-16.
 23. Nudo RJ, Milliken GW, Jenkins WM, Merzenich MM. Use- dependent alterations of movement representations in primary motor cortex of adult squirrel monkeys. *J. Neurosci* 1996;16:785-807.
 24. Sterr A. Saunders. CI therapy distribution: theory, evidence and practice. *NeuroRehabilitation* 2006;21:97-105.
 25. Utley J, Woll S. Materiały z kursu: "Force use in adult hemiplegia" Zurzach, Switzerland 2003, 25.05-30.05.2003.
 26. Uswatte G, Taub E, Morris D, Barman J, Crago J. Contribution of the shaping and restraint components of Constraint-Induced Movement therapy to Treatment Outcome. *NeuroRehabilitation* 2006;21:147-56.
 27. Liepert J, Miltner W, Bauder H, Sommer M, Dettmers C, Taub E. et al. Motor cortex plasticity during constraint-induced movement therapy in stroke patients. *Neurosci Lett* 1998;250:5-8.
 28. Classen J, Liepert J, Wise SP, Hallett M, Cohen LG. Rapid plasticity of human cortical movement representation induced by practice, *J Neurophysiol* 1998;79(2):1117-23.
 29. Karni A, Meyer G, Rey-Hipolito C, Jezzard P, Adams MM, et al. The acquisition of skilled motor performance: fast and slow experience-driven changes in primary motor cortex. *Proc Natl Acad Sci USA* 1998;95(3):861-8.
 30. Wittenberg GF, Chen R, Ishii K, Bushara OK, Eckloff S, et al. Constraint-induced therapy in stroke: magnetic-stimulation motor maps and cerebral activation. *Neurorehabil Neural Repair* 2003;17(1):48-57.
 31. Chollet F, Di Piero V, Wise RJ, Brooks DJ, Dolan RJ, Frackowiak RS. The functional anatomy of motor recovery after stroke in humans: a study with positron emission tomography. *Ann Neurol* 1999;29:63-71.
 32. Weiller C, Chollet F, Friston KJ, Wise RJ, Frackowiak RS. Functional reorganization of the brain in recovery from striatocapsular infarction in man. *Ann Neurol* 1992;31:463-72.
 33. Wailler C, Ramsay SC, Wise RJ, Friston KJ, Frackowiak RS. Individual patterns of functional reorganization in human cerebral cortex after capsular infarction in man. *Ann Neurol* 1993;33(2):181-9.
 34. Dettmers U, Teske F, Hamzei G, Uswatte G, Taub E, et al. Distributed from Constraint-Induced Movement therapy improves functional outcome and quality of life after stroke. *Arch Phys Med Rehab* 2005;86:204-9.
 35. Ward NS, Brown MM, Thompson AJ, Frackowiak RS. Neural correlates of outcome after stroke: a cross-sectional fMRI study. *Brain* 2003;126:2476-96.
 36. Wolf SL, Lecraw DE, Barton LA, Jann BB. Forced use of hemiplegic upper extremities to reverse the effect of learned nonuse among chronic stroke and head-injured patients. *Exp Neurol* 1989;104:125-32.
 37. Taub E, Miller NE, Novack TA, Cook EW, Fleming WC, Nepomuceno CS, et al. Technique to improve chronic motor deficit after stroke. *Arch Phys Med Rehab* 1993;74:347-54.
 38. Morris DM, Taub E, Mark VW, Constraint-induced movement therapy: characterizing the intervention protocol *Eura Mediocophys* 2006;42:257-68
 39. Ward Nick S, Leonardo G Cohen. Mechanisms Underlying Recovery of Motor Function After Stroke. *Arch Neural* 2004;61:1844-8.
 40. Kolb B, Gibb R. Environmental enrichment and cortical injury: behavioral and anatomical frontal cortex lesions. *Cerebral Cortex* 1991;1:189-98.
 41. Rose FD, Al-Khamees K, Davey MJ, Attree E. Environmental enrichment following brain damage: an aid to recovery or compensation? *Behav Brain Res* 1993;50:93-100.
 42. Thomson DM, Tulving E. Associative encoding and retrieval: Weak and strong cues. *J Exp Psychol* 1970;6:255-62.
 43. Winstein CJ, Rose DK, Tan SM, Lewthwaite R, Chui HC, Azen SP. A randomized controlled comparison of upper extremity rehabilitation strategies in acute stroke: a pilot study of immediate and long-term outcomes. *Arch Phys Med Rehab* 2004;85:620-28.

44. Woldag H, Hummelsheim H. Evidence-based physiotherapeutic concepts for improving arm and hand function in therapeutic concepts for improving arm and hand in stroke patients: a review. *J Neurol* 2002;249(5):518-28.