

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav fyzioterapie

Kristína Gurníková

Fenomén multisenzorickej integrácie v neurorehabilitácii

Bakalárska práca

Vedúci práce: Mgr. Jiří Stacho

Olomouc 2017

ANOTÁCIA

Typ záverečnej práce: Bakalárska práca

Názov práce: Fenomén multisenzorickej integrácie v neurorehabilitácii

Názov práce v AJ: The multisensory integration phenomenon in neurorehabilitation

Dátum zadania: 2017-01-31

Dátum odovzdania: 2017-05-02

Vysoká škola, fakulta, ústav: Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta zdravotníckých vied
Ústav fyzioterapie

Autor práce: Kristína Gurníková

Vedúci práce: Mgr. Jiří Stacho

Oponent práce: Mgr. Barbora Kolářová, Ph. D.

Abstrakt v SJ: Multisenzorická integrácia je pozoruhodný proces, ktorý v posledných rokoch nachádza využitie v rehabilitácii neurologických pacientov. Cieľom tejto práce je zhrnúť poznatky o tomto procese, jeho lokalizácii a využití jeho princípov v rehabilitačných technikách, a nakoniec konfrontovať výsledky štúdií, skúmajúcich ich význam v rehabilitácii pacientov po ikte. Na tvorbu tejto práce bolo použitých 77 odborných článkov, ktoré boli vyhľadávané v databázach PubMed, EBSCO, Science Direct a Google Scholar pomocou anglických ekvivalentov kľúčových slov: multisenzorická integrácia, neurorehabilitácia, crossmodal ilúzie, zrkadlová terapia, ilúzia gumovej ruky, virtuálna realita. Všeobecne z výsledkov štúdií vyplynulo, že pri rehabilitácii dolných končatín a chôdze, horných končatín a neglect syndrómu sú techniky multisenzorickej integrácie účinné, no štúdií, ktoré ich vplyvy skúmajú je primálo na to, aby boli techniky zahrnuté do bežného rehabilitačného procesu.

Abstrakt v AJ: Multisensory integration is a notable process which is beginning to be applied in rehabilitation of neurological patients in the past few years. The aim of this thesis is to sum up information about this process, its localization and the use of its principles in rehabilitation techniques and to confront results of various studies which examined their relevance

in rehabilitation of patients after stroke. There were 77 scientific articles used in this thesis and they have been searched in the databases PubMed, EBSCO, Science Direct and Google Scholar

using the key words: multisensory integration, neurorehabilitation, crossmodal illusions, mirror therapy, rubber hand illusion, virtual reality. The results of the studies generally showed that techniques based on multisensory integration have a good impact on the rehabilitation of lower limbs and gait, upper limbs and neglect syndrome, but the number of these studies is too low for the techniques to be included in a regular rehabilitation process.

Kľúčové slová v SJ: multisenzorická integrácia, neurorehabilitácia, crossmodal ilúzie, zrkadlová terapia, ilúzia gumovej ruky, virtuálna realita

Kľúčové slová v AJ: multisensory integration, neurorehabilitation, crossmodal illusions, mirror therapy, rubber hand illusion, virtual reality

Rozsah práce: 47 strán

Prehlásenie

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracovala samostatne pod odborným dohľadom Mgr. Jiřího Stacha a použila som len zdroje uvedené v referenčnom zozname.

V Olomouci, dňa 2. 5. 2017

Podpis

Pod'akovanie

Rada by som sa poďakovala vedúcemu tejto bakalárskej práce, Mgr. Jiřímu Stachovi za ústretovosť, férovosť a čas, ktorý venoval môjmu odbornému vedeniu počas písania tejto práce. Taktiež by som sa rada poďakovala mojej rodine za podporu, ktorú mi poskytovala počas celého štúdia.

Obsah

Úvod.....	7
1 Prehľad poznatkov	8
1.1 Zmysly podieľajúce sa na posturálnej stabilite.....	8
1.1.1 Zrak	8
1.1.2 Somatosenzorický systém	9
1.1.3 Vestibulárny systém	9
1.2 Multisenzorická integrácia.....	10
1.2.1 Colliculus superior	12
1.2.2 Cortex	14
1.3 Multisenzorická integrácia v neurorehabilitácii.....	18
1.3.1 Crossmodal ilúzie.....	18
1.3.2 Zrkadlová terapia.....	19
1.3.3 Ilúzia gumovej ruky	21
1.3.4 Mentálny tréning	22
1.3.5 Virtuálna realita.....	24
2 Diskusia.....	26
2.1 MI v terapii chôdze a dolných končatín.....	26
2.1.1 Mentálny tréning	26
2.1.2 Virtuálna realita.....	28
2.2 MI v terapii hornej končatiny	29
2.2.1 Zrkadlová terapia.....	29
2.2.2 Mentálny tréning	30
2.2.3 Virtuálna realita.....	31
2.3 MI v terapii neglect syndrómu.....	31
2.3.1 Zrkadlová terapia a aktívne pozorovanie	32
2.3.2 Ilúzia gumovej ruky	32
2.3.3 Virtuálna realita.....	33
Záver	35
Referenčný zoznam.....	37
Zoznam skratiek	46
Zoznam obrázkov.....	47

Úvod

Keďže človek žije v prostredí, ktoré je bohaté na rôzne zmyslové stimuly, je na tieto podmienky prispôsobený a vybavený viacerými zmyslami. Tieto zmysly však nevyužíva separovane, zmyslové podnety dokáže k sebe priradovať, kombinovať a spoločne ich integrovať. Je to zložitý proces, prebiehajúci v špecializovaných neurónoch v colliculus superior stredného mozgu a v mozgovej kôre.

Fenomén multisenzorickej integrácie je známy už desaťročia, no jeho potenciál v rehabilitácii neurologických pacientov nie je ešte zďaleka dostatočne preskúmaný a využitý. Dnes najznámejšími rehabilitačnými technikami, zameranými na tento proces sú najmä zrkadlová terapia, ilúzia gumovej ruky, mentálny tréning a tréning vo virtuálnej realite. Napomáhajú obnove funkcií, narušených neurologickým poškodením a môžu využívať koncepty neuroplasticity, čo má taktiež v konečnom dôsledku pozitívny vplyv na funkčnú obnovu.

Vďaka svojmu neurofyziologickému potenciálu majú tieto techniky význam v rozšírení rehabilitačného procesu. Po ukončení hospitalizácie sa obvykle končí rehabilitačný proces pacienta a práve po návrate do domáceho prostredia by mohli tieto techniky nájsť veľké využitie. Sú totiž bezpečné, jednoduché na vykonávanie a nenáročné na vybavenie a priestorové podmienky.

Cieľom tejto práce je zhrnúť informácie o procese multisenzorickej integrácie, jeho princípoch a lokalizácii, priblížiť techniky, ktoré potenciál tohto procesu využívajú v rehabilitácii a následne zhrnúť možnosti a výsledky ich využitia v rehabilitácii pacientov po cievnej mozgovej príhode z dostupných štúdií.

Na vyhľadávanie odborných článkov k tejto práci boli použité online databázy PubMed, EBSCO, Science Direct a Google Scholar, a to v časovom rozmedzí od novembra 2016 do apríla 2017. Na vyhľadávanie v databázach boli použité kľúčové slová: multisenzorická integrácia, neurorehabilitácia, crossmodal ilúzie, zrkadlová terapia, ilúzia gumovej ruky, virtuálna realita; teda ich anglické ekvivalenty: multisensory integration, neurorehabilitation, crossmodal illusions, mirror therapy, rubber hand illusion, virtual reality. Prostredníctvom databáz bolo vyhladaných a použitých celkovo 77 zahraničných článkov, vydaných v rokoch 1995 až 2016.

1 Prehľad poznatkov

1.1 Zmysly podieľajúce sa na posturálnej stabilite

Postura je definovaná ako pozícia rôznych častí tela voči sebe a voči prostrediu v danom čase. Posturálna kontrola umožňuje udržať ťažisko tela v optimálnej a čo možno najmenšej oblasti opornej bázy. Táto oblasť by mala byť umiestnená v strede opornej bázy a takéto umiestnenie poukazuje na možnosť udržania posturálnej stability tela v každom smere (Błaszczuk aj., 2014, pp. 433-434; Oliveira aj., 2008, pp. 1215-1218).

Posturálna kontrola teda umožňuje telu udržať si špecifickú pozíciu a dokáže to prostredníctvom informácií zo zmyslových systémov. Je kontrolovaná zrakovými, vestibulárnymi a somatosenzorickými informáciami, ktoré sú v mozočku integrované tak, aby si telo udržalo posturálnu stabilitu (Lions aj., 2016, p. 127; Geurts aj., 2004, pp. 267-269).

Proces adaptácie postury na meniace sa podmienky prostredia si vyžaduje prehodnocovanie (re-weighting) multisenzorických podnetov. Je to recipročný vzťah medzi modalitami pri meniacich sa dodávkach rôznych zmyslových podnetov. Keď informácie z jednej modality nestačia na udržanie pozície, je uprednostnená iná modalita, ktorá tento nedostatok kompenzuje (Polastri aj., 2012, p. 100).

1.1.1 Zrak

Zrak je bohatým zdrojom informácií o pohybe tela v prostredí, a preto je veľmi dôležitý aj v motorickej kontrole. Rozlišujeme dva typy zraku, centrálny a periférny. Centrálné videnie mozgu odhaľuje fyzikálnu charakteristiku objektov v prostredí a periférne videnie zodpovedá za priestorovú charakteristiku okolitého prostredia (Berencsi aj., 2005, p. 690).

Nízka zraková ostrosť alebo vyradenie periférneho videnia, prípadne úplné vyradenie zrakovej kontroly pri zavretí očí spôsobujú zníženie posturálnej stability, ktoré sa prejaví zvýšením výkyvov tela. Dá sa to zvýrazniť najmä zhoršením podmienok pre iné vnemy, dôležité pre posturálnu stabilitu – výkyvy tela sa výrazne zväčšia pri vyradení zrakovej kontroly v kombinácii so zhoršením propriocepcie, keď napríklad testovaná osoba stojí na mäkkej podložke a pritom zavrie oči (Lord a Menz, 2000, p. 307).

Vplyv zrakovej kontroly na posturu môžeme vidieť na experimente „pohyblivej miestnosti“. Testovaná osoba je umiestnená na stabilnú nehybnú plochu, zatiaľčo prostredie v zornom poli je možné voči nej uviesť do pohybu. Ak sa prostredie nehýbe, výkyvy tela sú stabilizované. Pri uvedení prostredia do pohybu môžeme pozorovať zvýšenie výkyvov tela

testovaného. V závislosti na smere a rýchlosti pohybu prostredia sa mení charakter výkyvov tela – mení sa ich smer a frekvencia podľa smeru a frekvencie pohybov prostredia (Schöner, 1991 in Jeka, 2000, p. 108; Soto-Farraco aj., 2004, pp. 1077-1080).

1.1.2 Somatosenzorický systém

Človek udržiava vzpriamený stoj pomocou krátkych svalových akcií, ktoré prerušujú dlhšie periódy svalového „ticha“. Nástup svalovej aktivity jednotlivých svalových skupín je zabezpečený prostredníctvom spinálnych reflexov a integráciou na vyšších úrovniach centrálného nervového systému (Simoneau aj., 1995, pp. 115-116).

Proprioceptívne a taktilné vnemy sa podieľajú na kontrole postury. Taktilné vnemy sú zapojené do regulácie výkyvov tela malej amplitúdy, zatiaľčo propiocepcia zo svalov na nohe má na starosti väčšie výkyvy. Prostredníctvom reflexov na úrovni spinálnej miechy regulujú tieto mimovoľné pohyby tela a zabezpečujú stabilitu (Kavounoudias aj., 2001, p. 876; Jeka aj., 2000, pp. 108-111).

Veľmi vhodným modelom pre skúmanie úlohy somatosenzorického systému v kontrole postury sú pacienti so symetrickou distálnou diabetickou polyneuropatiou, pretože im chýbajú somatosenzorické vzruchy z distálnych častí nôh. Okrem toho sa na vyradenie somatosenzorických vzruchov dá použiť mäkká podložka pod nohy, vibračné stimuly na Achillove šľachy, prípadne obmedzenie prietoku krvi nad členkom alebo lýtkom (Simoneau aj., 1995, p. 115).

1.1.3 Vestibulárny systém

Vestibulárny systém rozoznáva pohyby hlavy v priestore. Aferentnými vláknami dostáva informácie o uhlovom zrýchlení prostredníctvom polkruhovitých kanálikov a o lineárnom zrýchlení vďaka sacculu a utriculu. Aferentné vlákna vestibulárnej časti nervus vestibulocochlearis vedú vzruchy z týchto orgánov do vestibulárnych jadier. Odtiaľ sú získané informácie predkladané oddielom mozgu, zodpovedajúcim za pohyby očí, posturu a rovnováhu, a tiež vyšším štruktúram, zapojeným do riadenia voľných pohybov (Cullen, 2012, p. 185).

Vestibulárny systém nám teda umožňuje uvedomovať si vlastné pohyby tela a hrá dôležitú úlohu v stabilizácii pohľadu a kontrole rovnováhy a postury. Kontrolou pohľadu zaisťuje ostrosť zraku počas bežných aktivít, zabezpečuje posturálnu rovnováhu tým, že koordinuje kompenzačné pohyby krku a končatín, keď je telo vychýlené zo svojej štandardnej polohy buď vlastným pohybom alebo vonkajším pohybom, ktorý vychádza z prostredia.

Zároveň koriguje komplexnejšie pohybové úlohy, ako voľné pohyby a navigáciu (Cullen, 2012, pp. 185-186).

Poruchy a chronické deficity vestibulárneho systému sú však veľmi dobre kompenzovateľné informáciami zo zrakového a somatosenzorického systému, ak sa daná osoba nenachádza v podmienkach s protichodnými informáciami z týchto dvoch modalít. Úlohou vestibulárneho systému je teda v pokojnom stoji najmä riešiť tieto konflikty medzi somatosenzorickými a zrakovými vnemami (Simoneau aj., 1995, pp. 115-116).

1.2 Multisenzorická integrácia

Existuje množstvo nepochybných výhod v tom, keď má organizmus viacero zmyslov – každý z nich je najlepšie využiteľný v iných podmienkach a spolu získajú omnoho viac informácií, ako jeden zmysel samostatne, čím zvyšujú pravdepodobnosť odhalenia a rozpoznania objektu záujmu. Ešte väčšie výhody však poskytuje schopnosť kombinovať dané informácie. V tomto prípade sa organizmus dozvie viac aj o charaktere daného objektu záujmu, a to aj omnoho rýchlejšie a komplexnejšie, než by to dokázal len jednoduchým sčítaním informácií z jednotlivých zmyslov (Stein a Stanford, 2008, pp. 255-257).

Každý zmysel teda prenáša rozdielnu formu energie, a tak každý z nich dodáva mozgu samostatný druh informácie o tej istej udalosti. Keď zmysly prinášajú informácie o tom istom jave, dokážu sa v prípade, kedy je to potrebné, navzájom nahrádzať a dopĺňať. To je umožnené schopnosťou špecializovaných multisenzorických neurónov integrovať informácie získané z rôznych zmyslov, čím sa výrazne zvyšuje ich citlivosť na vonkajšie podnety. Zlepšuje sa nielen schopnosť organizmu detekovať a lokalizovať zdroj týchto podnetov, ale aj na ne vytvárať primerané motorické odpovede (Stein a Rowland, 2011, p. 145).

Odpoveď na multisenzorický podnet sa nezhoduje so žiadnou z odpovedí na jednotlivé unisenzorické podnety, takže informácia obsiahnutá z viacerých zdrojov vytvára novú unikátnu odpoveď (Stein a Stanford, 2008, pp. 255-257).

Aj keď sa zdá, že každý prvotný vnem istej udalosti má jednu špecifickú modalitu, v skutočnosti sú spracovávané a integrované rôzne zmyslové signály. Tento dej sa odohráva mimo rozsahu vedomého vnímania, takže vnemové a kognitívne funkcie a im podliehajúca mozgová aktivita sú bez akejkoľvek vedomej námahy formované touto interakciou medzi zmyslami. Mozog prostredníctvom špecializovaných neuronálnych a kôrových mechanizmov zabezpečuje syntézu informácií získaných z rôznych zmyslov a ich kompaktnú a jednotnú interpretáciu, ktorá zabezpečí odpovede prispôsobivého správania (Driver a Noesselt, 2008, pp. 28-36).

Syntéza multisenzorických impulzov môže byť tiež ovplyvnená ich významovou zhodou – pri vizuálnom vneme mačky a zvukovom vneme štekotu psa je nepravdepodobné, že sa vytvorí vnem štekajúcej mačky, a to aj napriek tomu, že vizuálny a zvukový vnem vnímame z toho istého miesta. Na druhej strane ak súvisiace informácie zo zvukových a zrakových stimulov sú komplementárne a predvedčivé, ich časová a priestorová nezhoda je tolerovaná do oveľa vyššej miery, ako u stimulov, ktoré nezdieľajú informácie o obsahu tej istej udalosti (Calvert a Thesen, 2004, p. 192).

Multisenzorická integrácia (MI) zlepšuje schopnosť rozpoznať udalosť v prostredí, lokalizovať ju v priestore a zamerať sa na ňu. Ak sa dva alebo viac crossmodal podnetov vyskytnú v rovnakom čase a priestore, pravdepodobne je možné ich priradiť k tej istej udalosti (crossmodal podnety pochádzajú z dvoch alebo viacerých zmyslových modalít alebo z udalosti, ktorá poskytuje tieto rôzne stimuly; crossmodal podnety sa viažu v procese multisenzorickej integrácie). Naopak, ak sa podnety časovo a priestorovo nezhodujú, je pravdepodobné, že sa viažu k nesúvisiacim alebo protichodným udalostiam a buď nebudú zlúčené alebo si budú navzájom konkurovať a spôsobovať zoslabenie odpovede. Tieto mechanizmy sa formujú v časnom postnatálnom živote jedinca (Stein aj., 2014, p. 521).

Formujú sa v návaznosti na najmenej dva faktory – dozrievanie kooperačných interakcií medzi asociačnou kôrou a colliculus superior a opakované skúsenosti s crossmodal podnetmi. Pri prítomnosti týchto faktorov dokáže mozog vytvárať nervové okruhy a prispôbovať základné princípy multisenzorickej integrácie podmienkam prostredia, v ktorom budú používané. Formuje sa tak funkčná aj štrukturálna architektúra pre rozvoj multisenzorickej integrácie (Stein a Rowland, 2011, p. 146).

Crossmodal podnety, ktoré sa vyskytnú v malom časovom a priestorovom rozsahu vo všeobecnosti zosilňujú odpoveď multisenzorických neurónov a naopak, tie, u ktorých je časová a priestorová nezhoda, nie sú integrované alebo spôsobujú zoslabenie odpovede (Stein aj., 2014, pp. 520-521).

Multisenzorické zosilnenie (multisensory enhancement) pozorujeme vtedy, keď odpoveď na integrované crossmodal podnety je výrazne silnejšia, než odpoveď na ktorýkoľvek samostatný podnet. Táto odpoveď môže byť superaditívna, kedy bude prevyšovať súčet odpovedí na stimuly samostatne, aditívna, kedy sa rovná súčtu týchto odpovedí alebo subaditívna, kedy bude odpoveď slabšia, než súčet odpovedí na stimuly samostatne (Stein aj., 2014, pp. 521-523).

Multisenzorické zoslabenie je situácia, kedy odpoveď na integrované crossmodal podnety je slabšia, než odpoveď na najefektívnejší podnet (Stein a Rowland, 2011, p. 147).

Facilitácia neuronálnej odpovede je spravidla najsilnejšia, keď odpovede na jednotlivé podnety sú najslabšie (Calvert a Thesen, 2004, p. 194). Multisenzorické zosilnenie je teda opačne viazané na intenzitu samostatných podnetov, ktoré sú kombinované. To znamená, že individuálne podnety vysokej intenzity sú ľahko zachytené a rozpoznané, ale pri ich kombinácii je ich efekt na neuronálnu aktivitu a správanie organizmu veľmi malý. Naopak, podnety s malou intenzitou v porovnaní s nimi vyvolajú pomerne málo nervových impulzov a odpoveď podlieha pri ich kombinácii veľkému zosilneniu. V tomto prípade môže byť multisenzorická odpoveď väčšia, než súčet odpovedí na samostatné podnety a môže mať výrazný pozitívny efekt na správanie organizmu (behavioral performance) tým, že zvyšuje pravdepodobnosť a rýchlosť rozpoznania a lokalizácie udalosti. Tento jav sa nazýva princíp inverznej efektivity (Stein a Stanford, 2008, pp. 255-257).

Dva hlavné faktory v intersenzorickej väzbe sú časová a priestorová zhoda. Takže ak sa dva alebo viac podnetov objaví v rovnakom čase na rovnakom mieste, sú integrované do jedného vnemu a tým sú detekovateľné omnoho rýchlejšie, než každý samostatne. Na druhej strane aj jemné odchýlky v nástupe a lokalizácii dvoch crossmodal podnetov spôsobia zmenšenie tohto efektu, a teda môžu spoločne vyvolať výrazne menšiu odpoveď, ako unimodálne stimuly samostatne (Radeau, 1994 in Calvert a Thesen, 2004, p. 192).

Integrácia crossmodal podnetov má tiež vplyv na detekčné prahy - napríklad citlivosť na vizuálne podnety s intenzitou nižšou, ako je prah vnímania jasu, môže byť zvýšená súčasným prídavným zvukovým podnetom s rovnakým časom nástupu a priestorovou lokalizáciou. Tento efekt je však znížený pri ich priestorovom rozdelení alebo časovom oneskorení (Frassinetti a Pavani, 2002, pp. 62-69).

Vplyvy multisenzorickej integrácie na orientáciu a primerané správanie organizmu v prostredí sú predmetom veľkého počtu štúdií a poskytujú veľa náhľadov na nervové mechanizmy, ktoré sú základom integrácie senzorických informácií. Tieto náhľady sú odvodzované z fyziologických štúdií multisenzorických neurónov rôznych živočíšnych druhov a v rôznych oddieloch mozgu, najčastejšie v strednom mozgu a mozgovej kôre mačiek a opíc (Stein a Stanford, 2008, pp. 255-257).

1.2.1 Colliculus superior

Multisenzorické neuróny sú prítomné vo všetkých úrovniach mozgu, v colliculus superior stredného mozgu mačiek sa nachádzajú v obzvlášť hojnom počte, a preto je táto štruktúra často využívaná ako zdroj informácií o vlastnostiach multisenzorických neurónov. Zrakové, zvukové aj somatosenzorické vstupy sú odvodené zo vzostupných zmyslových dráh

a zostupných projekcií z mozgovej kôry, ktoré sa zbiehajú v rôznych kombináciách na neurónoch colliculus superior (Stein a Stanford, 2008, p. 255-257).

Colliculus superior sa u mačiek podieľa na kontrole pohybov uší, očí a hlavy. Jeho povrchová vrstva obsahuje unisenzorické zrakové neuróny, stredná a hlboká vrstva obsahuje rôzne unisenzorické neuróny (zrakové, sluchové a somatosenzorické) a okrem nich aj skupiny multisenzorických neurónov, ktoré reprezentujú každú možnú kombináciu týchto troch zmyslov. Tieto neuróny podľa svojho typu integrujú crossmodal podnety a vytvárajú na ne unikátnu odpoveď (Burnett aj., 2006, p. 325).

Každý multisenzorický neurón má niekoľko excitačných recepčných polí, jedno pre každú modalitu, na ktorú daný neurón odpovedá a tieto polia sa vzájomne čiastočne prekrývajú. Ak sa dva stimuly z rôznych modalít budú nachádzať v mieste prekrytia týchto recepčných polí, budú priradené k tej istej udalosti a i keď budú samostatne málo efektívne, budú integrované a bude na nich vytvorená zosilnená odpoveď. V situácii, kedy jeden podnet spadá do recepčného poľa a druhý mimo neho, výsledná odpoveď bude bez zosilnenia, alebo bude zoslabená. V niektorých neurónoch colliculus superior sa na hranici excitačného recepčného poľa nachádza inhibičné pole. Ak sa jeden zo stimulov nachádza v tejto oblasti, spôsobí zoslabenie alebo potlačenie excitácie, spôsobenej stimulom v excitačnom recepčnom poli (Stein a Stanford, 2008, p. 255-257)

Pre multisenzorickú integráciu v colliculus superior sú veľmi významné aj zostupné excitačné vstupy zo špecifických regiónov asociačnej kôry mozgu. Ak sú tieto dráhy vyradené, neuróny v colliculus superior si môžu zachovať svoj multisenzorický charakter vďaka konvergencii unisenzorických vstupov z rôznych zdrojov, ale nedokážu ich integrovať, takže odpovede na multisenzorické podnety už nie sú efektívnejšie, než odpovede na samostatné podnety. Takisto sa vytrácajú pozitívne vplyvy na správanie organizmu (behavioral performance), ktoré multisenzorická stimulácia poskytuje (Calvert a Thesen, 2004, p. 194).

Tieto dôležité oblasti sú sulcus ectosylvii anterior (SEA) a rostrálna časť sulcus suprasylvii lateralis (rSSL). Tieto časti sú jedinečné svojou úlohou a iné oblasti nie sú schopné prevziať ich funkciu, ak sa v raných štádiách života jedinca poškodia (Jiang aj., 2006, p. 557).

I keď niekedy asociačné oblasti spolupracujú vo facilitácii multisenzorickej integrácie v neurónoch colliculus superior, najdôležitejšia z nich je SEA, keďže od nej závisí oveľa viac neurónov v colliculus superior, než od rSSL. Kortiko-kolikulárne vstupy zo SEA sú unisenzorické. Konvergujú z rôznych pododdielov SEA tak, aby vyhovovali neurónom, do ktorých vysielajú vstupy (Jiang aj., 2001, pp. 506-507).

1.2.2 Cortex

Na rozdiel od colliculus superior dosahuje multisenzorická integrácia mozgovej kôry ďaleko za hranicu spracovávania stimulov pre orientáciu a správanie organizmu v prostredí (Stein a Stanford, 2008, pp. 258-259).

Multisenzorické vplyvy sú neoddeliteľnou súčasťou nižších kôrových operácií, ako aj operácií vyššieho rádu, teda sa zúčastňujú na interakciách medzi nižšími senzorickými oblasťami, ako aj medzi týmito oblasťami a asociačnou kôrou (Ghazanfar a Schroeder, 2006, p. 278).

Kôrové senzorické spracovávanie postupuje z primárnych do sekundárnych zmyslovo špecifických kôrových oblastí, teda do regiónov asociačnej a heteromodálnej kôry. Tieto takzvané heteromodálne zóny boli definované na základe zistenia, že prijímajú konvergujúce vstupy z viacerých zmyslových modalít a obsahujú neuróny, zodpovedné za stimuláciu vo viac ako jednej modalite. Pri ich poškodení sa stretáme s funkčnými deficitmi. Týchto oblastí je viac, konkrétne sú to predné porcie sulcus temporalis superior (STS), zadné porcie STS vrátane temporo-parietálnej asociačnej kôry, parietálna kôra, premotorická kôra a prefrontálna kôra (Calvert a Thesen, 2004, pp. 192-193).

Sulcus temporalis superior

Zobrazovacie metódy ukazujú prítomnosť procesu multisenzorickej konverencie v oblasti STS (viď Obrázok 1). V štruktúre, zodpovedajúcej STS v mozgu opíc neuróny odpovedajú na vizuálne aj sluchové podnety. Multisenzorických neurónov v STS je zhruba 36-38% v jeho prednej a asi 12% v spodnej časti. Pri skúmaní integratívnych vlastností prostredníctvom dynamických podnetov (reč, trhanie papiera a ľudská chôdza) bola integrácia asi 23% neurónov, reagujúcich na videný biologický pohyb, ovplyvnená korešpondujúcim sluchovým komponentom. Je však dôležité, že multisenzorická modulácia bola závislá na tom či bol sluchový signál zhodný s vizuálnym vstupom (Ghazanfar a Schroeder, 2006, pp. 278-279).

Sulcus intraparietalis

Intraparietálna oblasť je časť väčšej siete, podieľajúcej sa na organizácii multisenzoricky riadených pohybov v priestore. Jednou z hlavných oblastí v tejto sieti je laterálna intraparietálna oblasť (LIP) v zadnej parietálnej kôre (viď Obrázok 1). Napriek tomu, že LIP bola dlho považovaná za unimodálnu zrakovú oblasť, dnes už vieme, že neuróny LIP prijímajú konvergované zrakové a sluchové vstupy a informácie o pozícii očí. Táto oblasť spracováva zrakové a sluchové podnety s rešpektom k momentálnej pozícii očí a podľa nej

prebieha výpočet vhodného vektora zmeny smeru pohľadu smerom k zrakovému, sluchovému alebo crossmodal cieľu (Stein a Stanford, 2008, pp. 258-259).

Ďalšou oblasťou v sieti pre sensoricky riadené pohyby je ventrálna intraparietálna oblasť (VIP), umiestnená v susedstve s LIP na dne sulcus intraparietalis (vid' Obrázok 1). Neuróny VIP odpovedajú na zrakové, sluchové, somatosenzorické a vestibulárne podnety a u bimodálnych a trimodálnych VIP neurónov sa zmyslové recepčné polia pre rôzne modalítity prekrývajú v priestore (Schlack aj., 2005, pp. 4616–4625).

Parietal reach region - PRR (vid' Obrázok 1) je fyziologicky definovaná oblasť a obsahuje celú mediálnu intraparietálnu oblasť (MIP) alebo jej časť. Je zodpovedný za vytváranie pohybov končatín smerujúcich k cieľu (Stein a Stanford, 2008, pp. 258-259).

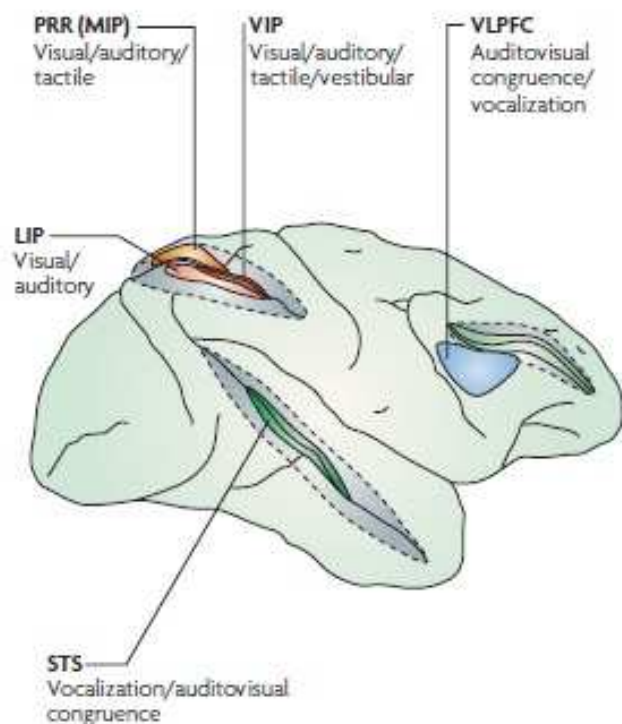
Temporo-parietálna oblasť

Na hranici temporálnej a parietálnej krajiny je spracovávaná multimodálna reprezentácia priestoru. Táto oblasť zaberá najzadnejšiu časť gyrus temporalis superior a oblasti na hranici sluchovej, somatosenzorickej a zrakovkej kôry. Obsahuje trimodálne neuróny s recepčnými poľami pre oblasť hlavy, krku a ramien, čo vedie k záveru, že temporo-parietálna oblasť by mohla byť zapojená do kontroly orientácie hlavy v priestore (Ghazanfar a Schroeder, 2006, p. 279).

Frontálna a prefrontálna kôra

Pri experimente, kde opice učili vytvárať asociácie medzi tónmi rôznej frekvencie a rozličnými farbami, boli pozorované neuronálne odpovede premotorickej kôry na sluchové aj zrakové podnety. V inej štúdii, kde pozorovali integráciu sluchových a zrakových komponent vokálnych signálov vo ventro-laterálnej prefrontálnej kôre (vid' Obrázok 1 - VLPFC) sa zistilo, že integrácia oboch komponent je závislá na ich kongruencii (Fuster aj., 2000, pp. 347–351).

Premotorická kôra obsahuje neuróny, odpovedajúce na zrakové, sluchové a somatosenzorické vstupy. Recepčné polia týchto neurónov sa viažu k oblastiam hornej polovice tela, vrátane tváre, paží a horného trupu. Dokonca aj odpovede na sluchové podnety bývajú smerované na zvuky v blízkosti tejto oblasti, bez ohľadu na ich intenzitu. V najväčšej miere sú tieto neuróny nahromadené v „polysenzorickej zóne“, umiestnenej v dorzálnych častiach premotorickej oblasti. Funkcia týchto neurónov sa zdá byť spojená s obrannými funkciami: primáty sú špeciálne citlivé na zrakové, sluchové aj multisenzorické podnety, ktoré signalizujú blížiacu sa nebezpečenstvo a mikrostimulácia tejto zóny má za následok obranné pohyby (Graziano aj., 2002, pp. 841–851; Ghazanfar a Schroeder, 2006, pp. 279-280).



Obrázok 1 - Multisenzorické oblasti v mozgovej kôre (Stein a Stanford, 2008, p. 262)

Sulcus ectosylvii a sulcus suprasylvii lateralis

Tieto štruktúry bývajú najčastejšie pozorovanými oblasťami pri skúmaní procesov multisenzorickej integrácie v mozgovej kôre u mačiek. Sulcus ectosylvii lateralis obsahuje okrem unisenzorických neurónov, ktoré premietajú stimuly do neurónov colliculus superior aj multisenzorické neuróny, ktoré do colliculus superior vzruchy nepremietajú. Je zaujímavé, že tieto neuróny integrujú vstupy z rôznych zmyslov veľmi podobnými spôsobmi, ako neuróny v colliculus superior (Stein a Stanforrd, 2008, pp. 258-259).

Aj u neurónov SEA platí, že časová a priestorová zhoda stimulov spôsobuje ich integráciu do jedného vnemu, a tým je udalosť v prostredí detekovateľná rýchlejšie, zatiaľčo u časovej alebo priestorovej nezahody stimulov sa znižuje alebo úplne potláča ich spoločná integrácia. Taktiež tu platí pravidlo inverznej efektivity, čo znamená, že čím nižšia je intenzita stimulov, tým menej nervových impulzov vyvolajú, no ich integrácia vyvolá omnoho väčšiu odpoveď na danú situáciu, než súčet odpovedí na samostatné stimuly (Stein a Stanford, 2008, pp. 258-259).

Inaktivácia týchto kôrových oblastí v mozgu mačky má priamy vplyv na integratívne vlastnosti neurónov v colliculus superior a môže tiež ovplyvniť schopnosť orientácie. Pre procesy orientácie je typické multisenzorické zosilnenie pri integrácii zhodných zrakovo-

sluchových podnetov v priestore, blízko prahu ich vnímania. Pri inaktivácii týchto oblastí je teda zosilnenie narušené, ale inaktivácia nezredukuje procesy orientácie len na unimodálne prezentované ciele. Pri mnohých procesoch môže byť dosiahnutá syntéza informácií z rôznych modalít prostredníctvom interakcií medzi zmyslovo špecifickými kôrovými oblasťami. Tieto interakcie môžu zosilniť výstupy ovplyvňujúce správanie a môžu tiež byť užitočným zdrojom vstupov pre iné procesy (Jiang, 2001, pp. 506-522).

Vizuálne a somatosenzorické spracovanie v sluchovej kôre

U opíc, tak ako aj u človeka sa konvergencia multisenzorických podnetov odohráva aj hornej temporálnej oblasti mozgovej kôry, a rôzne diagnostické metódy ukázali, že tu prebiehajú aj audio-taktilné a audio-vizuálne interakcie. Odpovede na somatosenzorickú stimuláciu nervus medianus majú približne takú istú latenciu ako odpovede na sluchové podnety v tej istej oblasti a pri kombinácii proprioceptívnych, vibračných a taktilných stimulov je dominantná odpoveď na podnety v oblasti kože hlavy a krku. Súčasná aplikácia sluchových a taktilných podnetov vedie k zosilneniu aktivity v oblasti dorzálne a laterálne k primárnej sluchovej kôre a vstupy prinášajúce informácie o pozícii očí vyvolávajú odpovede v tejto aj v okolitých oblastiach. Tak ako v STS sú multisenzorické interakcie optimalizované, keď sú podnety kongruentné (Ghazanfar a Schroeder, 2006, pp. 280-281).

Sluchové a somatosenzorické spracovanie v zrakovej kôre

Somatosenzorické a najmä sluchové podnety dokážu vo veľkej miere aktivovať oblasti mozgovej kôry, vrátane unimodálnych vizuálnych oblastí v temporálnom a parietálnom laloku. Teda okrem klasických sluchových oblastí odpovedá na sluchové podnety aj veľká časť gyrus temporalis superior, insula a časti parietálneho laloku. Predná oblasť temporálneho laloku zodpovedá za reprezentáciu predmetov a udalostí nezávisle na ich modalite. Istá jej časť, ktorá je zodpovedná za percepciu v oblasti tváre, je aktivovaná známymi tvármi, a dokonca aj hlasmi, ktoré daná osoba pozná. Vizuálna kôra sa zdá byť tiež reaktívna na taktilnú percepciu. Rozpoznávanie predmetov dotykom aktivuje laterálny okcipitálny komplex a zrakové kôrové oblasti, čo podporuje názor, že špecifické extrastriálne zrakové oblasti, zodpovedné za istú zrakovú úlohu (napríklad rozpoznanie objektu), odpovedajú aj na súvisiace taktilné podnety (von Kriegstein aj., 2005, pp. 367–376).

1.3 Multisenzorická integrácia v neurorehabilitácii

Percepcia, pozornosť, pamäť, reč a iné kognitívne funkcie pozostávajú z rozdielnych, vzájomne pôsobiacich a prekrývajúcich sa sietí. Zdravý ľudský mozog má veľkú kapacitu pre automatické súčasné spracovávanie a integráciu senzorických informácií a multisenzorické vplyvy sú základom pre kôrové operácie nižšieho aj vyššieho rádu. Metódy, využívajúce multisenzorickú integráciu môžu pomôcť priblížiť sa prirodzenému nastaveniu a funkcii a u zdravých jedincov zefektívňujú učenie (Johansson, 2010, p. 151).

Poškodenia na úrovni mozgovej kôry narúšajú tieto kôrové a kôrovo-podkôrové neuronálne siete, čo má za následok obmedzenie automatického a súčasného spracovávania rôznych prichádzajúcich podnetov. Opätovné učenie a kompenzácia stratených funkcií sú možné práve vďaka multisenzorickej integrácii a technikami, využívajúcimi multisenzorickú integráciu pre obnovu motorických, somatosenzorických a kognitívnych funkcií sú aktívne pozorovanie (zrkadlová terapia), mentálny tréning, a tréning vo virtuálnej realite (Johansson, 2010, p. 151).

1.3.1 Crossmodal ilúzie

Okrem toho, ako multisenzorická integrácia napomáha rozpoznaniam, lokalizácii a odpovedi na udalosť v prostredí, sa tiež podieľa na vzniku unikátnych vnemových zážitkov (unitary perceptual experiences). Napríklad chuť vzniká syntézou chuťových, čuchových, taktilných a niekedy aj vizuálnych vnemov. Pri integrácii informácií z rôznych zmyslov musí byť braný do úvahy nielen zložitý komplex vnemov, spracovaný každým zmyslom samostatne, ale aj fakt, že každá modalita má svoju vlastnú kvalitu, ktorá procesom integrácie nesmie byť narušená. Qualia je subjektívny vnem zo vzruchu; napríklad vnem rozličných odtieňov farby je špecifický pre zrakový systém, zatiaľčo svrbenie je vnem somatosenzorického systému (Stein a Stanford, 2008, p. 255-257).

Poznáme niektoré stratégie, prostredníctvom ktorých nervový systém pri integrácii podnetov z rôznych zmyslov vytvára unikátny vnemový zážitok. Informácie získané prostredníctvom ktoréhokoľvek zmyslu sú porovnávané s množstvom informácií z iných zmyslov podľa toho, aké množstvo informácií dokážu poskytnúť o danej udalosti. Pri časových a priestorových odchýlkach, ktoré narúšajú väzby medzi crossmodal podnetmi, ktoré sú prirodzene spojené, sú často výsledkom tohto narušenia crossmodal ilúzie (Stein a Stanford, 2008, p. 255-257).

Crossmodal ilúzie sa teda objavujú, keď to, čo vnímame v jednej modalite je zmenené tým, čo vnímame v inej modalite. Keď tomu rozumieme takto, crossmodal ilúzie sú vlastne vnemové stratégie, používané na vysporiadanie sa s konfliktmi medzi vnemami z rôznych zmyslov a vytváranie celistvosti práve prebiehajúcej vnemovej skúsenosti. Je to proces, založený na automatických multisenzorických interakciách v mozgu, ktorý funguje mimo rozsahu vedomého vnímania. Jednou z teórií o tom, ako môžu multisenzorické interakcie ovplyvniť vnímanie je, že spätnoväzbové projekcie z asociačných oblastí mozgovej kôry umožňujú informáciám z jednej modality (zrak) ovplyvňovať zmyslové spracovanie na úrovni mozgovej kôry v oblasti viazanej na inú modalitu (hmat) (Cappe aj., 2009, pp. 28-36).

McGurkov efekt

Pozorovanie tváre rečníka nám pomáha porozumieť tomu, čo hovorí vďaka integrácii zraku a sluchu. Ak sú kombinované nezodpovedajúce vzruchy (napríklad videozáznam človeka, hovoriaceho slabiku „ga“ doplnený hlasom toho istého človeka, hovoriaceho slabiku „ba“), môže byť výsledným vnemom ich kombinácia (pozorovateľ počuje slabiku „da“). Táto ilúzia sa nazýva McGurkov efekt (McGurk a MacDonald, 1976 in Stein a Stanford, 2008, p. 257).

Bruchomluvectvo

Druhou známou crossmodal ilúziou je bruchomluvectvo. Zdanlivým javom pri pozorovaní pier bruchomlúvcov je „zachytenie“ a „premiestnenie“ zvuku, čo následne vytvára dojem, že zvuk vychádza z iného miesta, ako z jeho pier. Niečo podobné sa deje aj pri pozorovaní televízie. Hlas každej postavy je zdanlivo presne umiestnený na obrazovke a závisí od pohybu postavy po obrazovke, ale v skutočnosti všetky zvuky vychádzajú z toho istého miesta – z reproduktora (Howard a Templeton, 1966 in Stein a Stanford, 2008, p. 257).

Najznámejšie techniky, využívajúce terapeutické účinky crossmodal ilúzií sú zrkadlová terapia a ilúzia gumovej ruky. Majú pôsobivé využitie pri terapii bolesti a rehabilitácii po cievnej mozgovej príhode (CMP) (Bolognini aj., 2015, pp. 1-4).

1.3.2 Zrkadlová terapia

Prvýkrát bola zrkadlová terapia použitá na zmiernenie fantómovej bolesti u pacientov s amputovanou končatinou. Odvtedy sa už táto terapia využíva aj u bolestivých syndrémov alebo motorických porúch. Mechanizmus, ktorý má účinok na bolesť sa pravdepodobne líši od mechanizmu, pôsobiaceho na obnovu motorických funkcií (Michielsen aj., 2010, p. 1).

Presný mechanizmus, akým zrkadlová terapia prispieva k zotaveniu po CMP nie je celkom známy, zobrazovacie metódy poukazujú na kľúčovú rolu zrakovo-motorického

konfliktu – keď má pacient vedľa zdravej ruky postavené zrkadlo, pri pohybe zdravou rukou vzniká ilúzia súčasného symetrického pohybu oboch rúk, i keď paretická ruka je bez reálneho pohybu (viď Obrázok 2) (Bolognini aj., 2015, pp. 2-3).



Obrázok 2 - Zrkadlová terapia
(McCabe, 2011, p. 171)

Pacienti po CMP sú pri zrkadlovej terapii inštruovaní tak, aby pohybovali obomi končatinami súčasne. Keďže sa títo pacienti hýbu asymetricky, odraz v zrkadle im poskytne ilúziu normálneho pohybu paretickej ruky, čo vytvára nezhodu medzi vykonávaným pohybom a vizuálnou spätnou väzbou. Tento rozpor zvyšuje neuronálnu aktivitu v oblastiach spojených s vnímaním priestoru a vlastného tela, a teda aj danej paretickej končatiny (Nojima aj., 2012, pp. 1293-1300).

Predpokladá sa, že pozorovanie zrkadlovej ilúzie má vplyv na systém zrkadlových neurónov. Zrkadlové neuróny sa nachádzajú v mozgu opíc a je to špecifický typ neurónov, ktoré sa podieľajú na zaznamenávaní iného jedinca vykonávajúceho istý pohyb, a tiež na vykonávaní motorickej akcie. Tieto neuróny sú pravdepodobne základom pre imitačné učenie, učenie jazyka a sociálne interakcie. Pozorovanie pohybov iného jedinca zlepšuje motorické funkcie pacienta po CMP, čo naznačuje potenciál systému zrkadlových neurónov v náprave motorického deficitu. Je teda možné sa domnievať, že takéto pozorovanie vlastného pohybu v zrkadle môže mať podobné účinky na motorické funkcie pri liečbe CMP (Michielsen aj., 2010, p. 1).

Z hľadiska neurofyziológie je zrkadlová terapia preskúmaná rôznymi vyšetrovacími postupmi a ich výsledky sa niekedy líšia. Je tu porovnávaná neuronálna aktivita a excitabilita

ipsilaterálne k pohybujúcej sa ruke bez a s pozorovaním jej odrazu v zrkadle. Magnetoencefalografická štúdia zaznamenala pri zrkadlovej terapii zvýšenú aktivitu primárnej motorickej kôry a výsledky elektroencefalografickej štúdie uvádzajú, že zrkadlová ilúzia vyvoláva lateralizované prípravné potenciály, signalizujúce motorickú prípravu pre nepohyblivú ruku. Na druhej strane pri transkraniálnej magnetickej stimulácii sa nezistil žiaden efekt samotnej zrkadlovej terapie na excitabilitu motorickej kôry, výsledok bol preukázateľný len pri súčasnej aplikácii mentálneho tréningu. Zaujímavý je však výsledok štúdie využívajúcej funkčnú magnetickú rezonanciu, ktorá nepreukázala zvýšenú aktivitu senzomotorických oblastí ako efekt zrkadlovej terapie, no poukázala na zvýšenú aktivitu v sulcus temporalis superior, ktorú je podľa lokalizácie možné priradiť k aktivite systému zrkadlových neurónov (Michielsen. aj., 2010, p. 2).

1.3.3 Ilúzia gumovej ruky

Ilúzia gumovej ruky odhaľuje mechanizmy uvedomovania si vlastného tela, plasticity telesnej reprezentácie a jej závislosť na multisenzorickej integrácii hmatu, propiocepcie a zraku. Táto ilúzia je vo veľkej miere klinicky skúmaná, avšak jej aplikácia v rehabilitácii je stále v počiatkoch (Christ a Reiner, 2014, pp. 33-44).

Pri vytváraní ilúzie gumovej ruky hľadáme na malých okrskoch pacientovu ruku, ktorá je skrytá z dohľadu a zároveň v rovnakých oblastiach hľadáme gumovú ruku, ktorá je na mieste reálnej pacientovej ruky (vid' Obrázok 3). Tým dosahujeme multisenzorický konflikt videného dotyku, ktorý je cítený na inom mieste a vytvárame ilúziu, že gumová ruka patrí pacientovi. Tento konflikt je v mozgu riešený prijatím gumovej ruky za vlastnú a zmenou vnímania pozície ruky smerom ku gumovej ruke. Dalo by sa povedať, že táto ilúzia je založená na vizuálnom zachytení propioceptívnych vnemov a výsledkom toho je „prepísanie“ propioceptívnych informácií o pozícii ruky vizuálnymi informáciami o pozícii gumovej ruky. V dôsledku toho pacient z nej vníma vzruchy ako z vlastnej končatiny (Bolognini aj., 2015, pp. 3-4; Kammers aj., 2009, pp. 204-205).

Pre vytvorenie ilúzie gumovej ruky je dôležitá synchronicita medzi vizuálnymi a propioceptívnymi informáciami, no dôležitá je tiež zhoda umiestnenia a nastavenia pacientovej vlastnej a gumovej ruky. Inkongruencia medzi ich pozíciami spôsobuje zníženie alebo dokonca potlačenie ilúzie, čo nám ukazuje, že významnú rolu tu hrá aj prvotná informácia o telesnej reprezentácii (Kammers aj., 2009, p. 205).



Obrázok 3 - Ilúzia gumovej ruky
(Kammers, 2009, p. 205)

Táto ilúzia ovplyvňuje propiocepciu a ciele pohyby stimulovanej končatiny a má aj výrazný pozitívny vplyv na liečbu neglect syndrómu (Kammers aj., 2009, pp. 204-211; Kitadono a Humphreys, 2007, pp. 265-269).

Úspešná je aj pri neuroprotetike. Aby bola končatina funkčne v poriadku, pacient potrebuje vnímať nielen pohyby, ale aj dotyk. Ilúzia gumovej ruky sa tu aplikuje taktílnou stimuláciou pahýľa, ktorý pacient nevidí, v kombinácii s dotykom prstov na protéze, ktorú má umiestnenú na mieste jeho vlastnej končatiny. To vyvoláva pocit dotyku na umelej ruke a pacient túto protézu prijíma za svoju. Tieto crossmodal manipulácie s protézou aktivujú tie isté multisenzorické oblasti v premotorickej kôre a sulcus intraparietalis, ktoré sú u zdravých jedincov zapojené do integrácie zrakových, taktílných a propioceptívnych signálov, na ktorých je založené uvedomenie si vlastného tela (body ownership) (Bolognini aj., 2015, pp. 2-3).

Ilúzia gumovej ruky nachádza využitie aj u pacientov s bolestivými syndrómami a chronickou bolesťou (Bolognini aj., 2015, p. 4).

1.3.4 Mentálny tréning

Motorický tréning je spojený so zmenami aktivácie neurónov v cerebellu, striate a motorickej kôre. Je to síce najefektívnejší spôsob učenia pohybovej schopnosti, no nie je to jediný spôsob. Mnoho štúdií vykazuje presvedčivé pozitívne výsledky mentálneho tréningu, vykonávaného prostredníctvom vizualizácie pohybu (Olsson aj., 2008, p. 1; Nyberg aj., 2006, p. 711).

Mentálny tréning je kognitívny proces vytvárania mentálneho zážitku (sluchového, zrakového, taktílného, pohybového) bez jeho fyzického vykonania. Tento koncept sa prvýkrát

objavil v športovej medicíne, kde sa využíva na udržanie úrovne výkonnosti atlétov počas zotavovania z úrazu. Princípom tejto techniky je aktivácia tých istých mozgových oblastí a dráh, ktoré sú aktivované pri reálnom pohybe, a to aj pri absencii fyzického pohybu (Verma aj., 2012, p. 18).

To, čo sa pri mentálnom tréningu odohráva, je predstava pohybu spojená s vôľovým potlačením aktuálneho pohybu. Aktivuje v mozgu oblasti, zapojené do prípravy a realizácie pohybu. Napriek tomu, že neurofyziologický základ účinku mentálneho tréningu nie je do detailu preskúmaný, je viditeľný jeho pozitívny efekt pri následnom testovaní motorických schopností (Johansson, 2012, p. 3; Nyberg aj., 2006, p. 711).

Ako už vieme, motorické učenie je spojené s viacerými oblasťami mozgu, a to v prvom rade s cerebellom, striatom a kôrovými oblasťami – prefrontálna oblasť, premotorická kôra, suplementárna motorická oblasť, cingulum a kôra parietálneho laloku. Vyšetrenia EMG a EEG pri mentálnom tréningu ukázali nárast sily (strength gain). Zaujímavé však je, že tento nárast bol viditeľný z EEG potenciálov, ale vyšetrenie EMG zasa ukázalo, že daný signál nedorazil na úroveň svalov. Z toho vyplýva, že mentálny tréning má vplyv najmä na motorické kôrové oblasti vyššej úrovne, a to na suplementárnu motorickú kôru a prefrontálne oblasti, ktoré môžu sekundárne ovplyvniť primárne motorické oblasti, konkrétne aj primárnu motorickú kôru a tým v konečnom dôsledku stimulovať motorickú aktivitu (Ranganathan aj., 2004, pp. 944-956; De Vries a Mulder, 2007, pp. 5-6).

Mentálny tréning v praktickom prevedení je opakované kognitívne nacvičovanie pohybov bez ich vedomého fyzického vykonania. Pretože nevyžaduje fyzický nácvik, dá sa včasne zaradiť do rehabilitačného procesu, môže byť vykonávaný bez priameho dohľadu a vyžaduje minimálne výdavky a vybavenie, čo znamená, že je jednoduchý na realizáciu. Tým sa z neho stáva atraktívna alternatíva iných rehabilitačných prístupov (Page a Peters, 2014, p. 3454).

Využitie mentálneho tréningu je veľmi vhodné pri rehabilitácii pacientov po CMP. V časnom štádiu po ikte môžu byť niektoré motorické úlohy pre pacienta zložité, alebo aj nebezpečné. V takom prípade je mentálny tréning dobrou prípravou na následné fyzické cvičenie. Samotný mentálny tréning nie je taký efektívny, ako v kombinácii s fyzickým tréningom, no dokáže vyvolať kôrovú a nervovosvalovú aktiváciu tak, akoby bola daná aktivita fyzicky vykonávaná. Keďže pacient po CMP je väčšinu času na lôžku a v inaktivite, mentálny tréning mu umožňuje pripravovať sa na fyzickú aktivitu, ktorú bude následne vykonávať. Opakované cvičenie špecifických aktivít sa javí byť predpokladom pre plasticitu mozgovej kôry a neskoršie motorické pokroky (Page a Peters, 2014, pp. 3456-3457).

1.3.5 Virtuálna realita

Virtuálna realita je technológia, ktorá používateľom umožňuje interakciu s multisenzorickým, interaktívnym a realistickým trojrozmerným prostredím, ktoré poskytuje tiež spätnú väzbu na pacientovu aktivitu. Je tu možnosť veľkej miery kontroly parametrov a aplikácií, ktoré môžu byť prispôsobené individuálne pre každého používateľa a tiež kombinované s inými technikami (Johansson, 2012, p. 3; Saposnik aj., 2011, p. 1380).

Rehabilitačné využitie špecializovaných programov virtuálnej reality ešte nie je rutinné, no má výhodu v tom, že poskytuje pacientom príležitosť cvičiť aktivity, ktoré nemôžu byť fyzicky realizované v klinickom prostredí. Okrem toho sú programy virtuálnej reality často zaujímavejšie a prítlačivejšie, než prostriedky tradičnej terapie, čo povzbudzuje k častejšiemu cvičeniu a väčšiemu počtu opakovaní (Laver aj., 2012, pp. 15-21).

Tréning vo virtuálnej realite umožňuje aplikáciu dôležitých konceptov neuroplasticity – opakovanie, intenzita, tréning zameraný na vykonanie konkrétne určenej úlohy. Aplikácie tréningu vo virtuálnej realite môžu byť od non-imerzných až po plne imerzné v závislosti na stupni izolácie pacienta od fyzického okolia počas interakcie s virtuálnym prostredím. Ako tréning vo virtuálnej realite sa dá využiť aj mnohé non-imerzné videohry, ktoré boli pôvodne vytvorené pre domáce použitie, čo robí túto metódu viac prístupnou pre klinické aj domáce použitie. Mnohé z týchto hier sa začali používať v klinickej praxi vrámci rehabilitácie, i keď na to neboli špeciálne vytvorené (Saposnik aj., 2011, pp. 1380-1381).

Zábavný priemysel vyvinul už množstvo herných systémov, umožňujúcich využitie virtuálnej reality v domácom prostredí. Tým sa táto technológia stáva dostupnejšou a cenovo prijateľnou pre väčší okruh pacientov. Umožňuje používateľovi trénovať vo virtuálnom, počítačom vytvorenom trojrozmernom prostredí. Napríklad pri použití hracej konzoly Nintendo Wii pacient na obrazovke pozoruje virtuálnu postavičku, ktorá reprodukuje jeho pohyby. Je to teda interaktívna aktivita a umožňuje zvyšovať intenzitu rehabilitácie, potrebnú práve pre navodenie procesov neuroplasticity. Pacient má možnosť pozorovať svoje vlastné pohyby v reálnom čase, čo tiež spôsobuje aktiváciu systému zrkadlových neurónov a zároveň podporuje účinok tréningu na zlepšenie pohybových schopností pacienta (Saposnik aj., 2010, p. 1478).

Hry vo virtuálnej realite môžu zvýrazniť účinok tréningu na pozornosť, rýchlosť, silu, presnosť a timing pre hornú končatinu. Preto sa virtuálna realita a aplikácia hier považujú za technológie, vhodné na použitie v kombinácii s konvenčnými rehabilitačnými postupmi pre zlepšenie motorických funkcií hornej končatiny (Saposnik aj., 2011, pp. 1380-1381).

Na funkciu hornej končatiny vplýva virtuálny tréning nielen v krátkodobom, ale aj v dlhodobom časovom horizonte, a to až tri mesiace po ukončení rehabilitačného plánu (Housman, 2009, pp. 505-514). Okrem hornej končatiny je táto metóda vhodná tiež na terapiu chôdze. Výrazne zvyšuje rýchlosť chôdze, a to takisto s dlhodobým účinkom, a tiež sa využitím virtuálnej reality ako doplnkovej terapie dá doceliť zlepšenie globálnych motorických funkcií a ADL (Laver aj., 2012, pp. 15-18).

2 Diskusia

Súčasnú klinickú prax pre rehabilitáciu po CMP sú založené na vedeckých a klinických dôkazoch o významnom potenciáli remodelácie mozgových štruktúr po neurologickom poškodení vďaka neuroplasticite. Pre využitie tohto potenciálu a aktiváciu procesov remodelácie je potrebná aplikácia dôležitých princípov neuroplasticity - rehabilitačné procesy majú byť pre pacienta výzvou, musia mať dostatočnú intenzitu a počet opakovaní, špecificky zameraný cieľ a pacienta majú motivovať k cvičeniu (Saposnik aj., 2011, p. 1380).

Mentálny tréning, tréning vo virtuálnej realite, zrkadlová terapia a ilúzia gumovej ruky sú rehabilitačné techniky, ktoré využívajú potenciál multisenzorickej integrácie v motorickom učení a zároveň poskytujú priestor pre aplikáciu princípov neuroplasticity. Tieto techniky a ich význam v rehabilitácii po cievnej mozgovej príhode sú skúmané rôznymi autormi a vo väčšine prípadov je popisovaný ich pozitívny vplyv na obnovu funkcií, poškodených následkom iktu (Johansson, 2012, pp. 1-11).

2.1 MI v terapii chôdze a dolných končatín

2.1.1 Mentálny tréning

Mentálny tréning môže byť využitý na kognitívne nacvičovanie fyzických aktivít bezpečným spôsobom s možnosťou opakovania, a to aj u pacientov s nulovou reziduálnou motorickou funkciou (Belda-Lois aj., 2011, p. 10).

Potenciál využitia mentálneho tréningu pre optimalizáciu opätovného učenia aktivít ako chôdza, sadanie a vstávanie zo stoličky alebo čiastkové pohyby nohy pri chôdzi boli skúmané v rôznych štúdiách, no len v malých vzorových skupinách (Malouin a Richards, 2010, p. 244).

Medzi prvými testoval účinok mentálneho tréningu Dickstein u 69-ročného pacienta v chronickom štádiu po CMP s ľavostrannou hemiparézou. Mentálny tréning bol aplikovaný trikrát do týždňa po dobu 6 týždňov. Výsledky testovania na konci rehabilitačného plánu ukázali zvýšenie rýchlosti chôdze o 20,4% a dĺžky kroku o 19,4% a tento pokrok sa v značnej miere zachoval aj dlhodobo po ukončení terapie. Kadencia chôdze bola zvýšená o 9% a táto zmena sa v ďalšom období zachovala len okrajovo. Taktiež bolo pri chôdzi preukázané skrátenie fázy dvojitej opory, chýbalo však vyrovnanie asymetrie medzi stojnými fázami na oboch končatinách. Pred aj po terapii bola stojná fáza na zdravej končatine dlhšia, než na paretickej a nebol preukázaný ani vplyv terapie na prevenciu pádov. Vo fáze počiatočného

kontaktu bol pozorovaný nárast extenzie kolena a počas švihovej fázy zasa flexie kolena; to umožňuje švihovej končatine predĺženie kroku (Dickstein aj., 2004, pp. 1167-1177).

Dunsky hodnotil využiteľnosť a efektivitu mentálneho tréningu v domácich podmienkach a z veľkej časti sa jeho výsledky zhodovali s výsledkami ktoré priniesol Dickstein. 17 pacientov v chronickom štádiu po CMP s hemiparézou absolvovalo tréning chôdze v predstave, a to trikrát za týždeň po dobu 6 týždňov. Rýchlosť chôdze bola zvýšená až o 40%, čo je oproti predošlej štúdii takmer dvojnásobný nárast. Už v polovici tréningu bola pozorovaná zmena dĺžky kroku paretickej DK o 16% a nárast kadencie chôdze o 8%. Rozsah pohybu v kolennom kĺbe sa zväčšil o 18%, avšak v distálnej časti DK neboli pozorované výrazné zmeny. Symetria chôdze sa zlepšila o 10%, pravdepodobne v dôsledku predĺženia stojnej fázy paretickej DK, bez zmeny opory o zdravú DK. Zároveň sa skrátila fáza dvojitej opory, čo nasvedčuje väčšej stabilite paretickej DK a zväčšeniu flexie kolena počas švihovej fázy. (Dunsky aj., 2008, pp. 1580-1584).

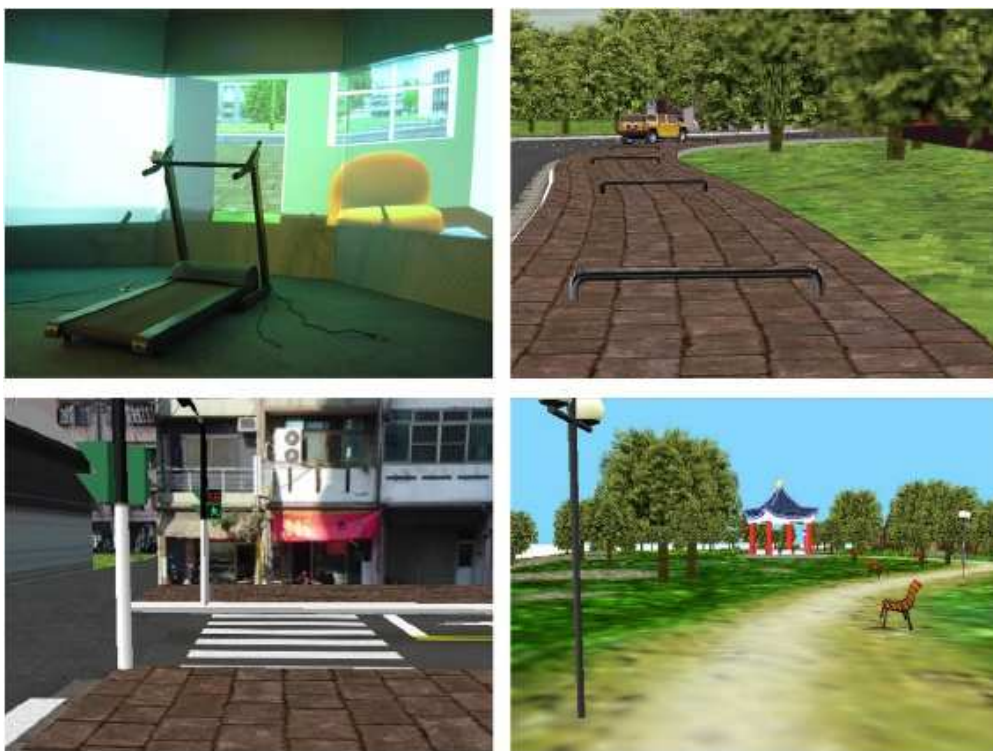
Pozitívne výsledky na terapiu dolných končatín už po jednej terapii má aj štúdia, ktorá využíva mentálny tréning v kombinácii s malým množstvom fyzickej aktivity. Malouin aplikoval u 12 pacientov v chronickom štádiu po CMP terapiu, ktorá pozostávala zo 7 sérií pohybovej aktivity, z ktorých každá obsahovala 1x fyzickú aktivitu, a následne 5 opakovaní v predstave. Cieľom bolo zlepšiť zaťažovanie paretickej DK pri sadaní a vstávaní zo stoličky. Efekt bol výrazný, zaťaženie paretickej DK pri vstávaní sa zvýšilo o 17,9% a pri sadaní o 16,2%. Tieto zlepšenia sa z väčšej časti zachovali až po dobu 24 hodín po tréningu. Dlhodobý efekt naznačuje, že pri mentálnom tréningu došlo k motorickému učeniu. Avšak pacienti s poškodením v najmenej 2 oblastiach, zodpovedajúcich za pamäť, vykazovali menšie zlepšenie a efekt sa u nich po skončení terapie nezachoval (Malouin aj., 2004, pp. 177–183).

Jedným z dôvodov udržania výsledkov tejto terapie je práve kombinácia mentálneho tréningu s fyzickou aktivitou. Pacient týmto spôsobom mentálne aj fyzicky nacvičuje postupnosť pohybov spojených s motorickou úlohou, tak sa zakaždým zameriava na prípravu a plánovanie správnej stratégie pohybu, a teda si vo väčšej miere uvedomuje požadovaný pohyb (Malouin a Richards, 2010, p. 245). Pascual-Leone už v roku 1995 vo svojej štúdii, využívajúcej transkraniálnu magnetickú stimuláciu dospel k záveru, že účinok mentálneho tréningu slúži ako príprava pre následný pohyb a zvyšuje efektivitu následného fyzického tréningu (Pascual-Leone aj., 1995, pp. 1037-1045).

2.1.2 Virtuálna realita

Koncom 90. rokov prispel pokrok v počítačových technológiách k rozvoju virtuálnej reality, čo umožnilo využitie ilúzie trojrozmerného priestoru a bezpečného pohybu v ňom. V prvých štúdiách bol pozorovaný vplyv virtuálnej reality na motorické funkcie a v terapii po cievnej mozgovej príhode ju vyhodnotili ako užitočnú (Merians aj., 2002, pp. 898-913; You aj., 2005, pp. 1166-1170; Lam aj., 2006, pp. 245-253).

Virtuálna realita vytvára možnosť pre modifikáciu podmienok pre chôdzu – do zorného poľa môžu byť umiestnené rôzne veľké prekážky na ceste, zmeny terénu; pacient sa musí vyhýbať kolíziám, dvíhať nohy a prekračovať prekážky, chodiť do kopca či z kopca a prispôbovať rýchlosť chôdze (viď Obrázok 4). Yang skúmal vplyv takéhoto tréningu na kvalitu chôdze. 20 pacientov v chronickom štádiu po CMP bolo náhodne rozdelených do dvoch skupín, obe absolvovali 20 minút dlhý tréning trikrát za týždeň po dobu 3 týždňov, pričom tréning kontrolnej skupiny sa odohrával len na chodiacom páse a u druhej skupiny bola chôdza na páse kombinovaná s virtuálnou realitou. V kontrolnej skupine sa rýchlosť chôdze po trojtýždňovom tréningu zvýšila o 2,8%, pričom u kombinovaného tréningu bol nárast až o 23,2%. Výsledky boli viditeľné aj po mesiaci od ukončenia tréningu (Yang, 2008, pp. 201-206).



Obrázok 4 - Tréning na chodiacom páse v kombinácii s virtuálnou realitou (Yang, 2008 p. 203)

Ďalej Yang testoval chôdzu medzi ďalšími ľuďmi na základe tvrdenia, že len malá časť pacientov po CMP sa dokáže zdatne a efektívne pohybovať uprostred skupiny ďalších ľudí (Lord aj., 2004, pp. 234-239). Tréning s využitím virtuálnej reality zlepšil viaceré parametre takejto chôdze, čas potrebný na prejdienie určenej trasy sa po troch týždňoch tréningu znížil až o 26,55%, pacienti v dotazníkoch uviedli vyššiu sebaistotu pri vykonávaní špecifických pohybových úkonov a pri chôdzi v rôznych podmienkach doma a medzi ľuďmi. Výsledky by mohli byť výraznejšie a presnejšie, ak by bol testovaný väčší počet pacientov a najmä ak by tréning trval dlhšie, než 3 týždne (Yang, 2008, pp. 201-206).

Rajaratnam o niekoľko rokov neskôr skúmal vplyv interaktívnych hier vo virtuálnej realite na rovnováhu. 19 pacientov bolo rozdelených do dvoch skupín, kontrolná skupina absolvovala konvenčný rehabilitačný program zameraný na rovnováhu a u druhej skupiny bola rehabilitácia vedená v kombinácii s virtuálnou realitou. Kombinácia týchto dvoch techník výrazne zlepšila rovnováhu a sebaistotu pacientov pri chôdzi a spôsobila zvýšenú aktiváciu posturálnej kontroly v oblasti bedrových kĺbov a členkov (Rajaratnam aj., 2013, pp. 1-5).

Poznáme teda veľa štúdií, ktoré podporujú tréning vo virtuálnej realite, Sisto však, naopak, tvrdí, že síce virtuálna realita umožňuje systematicky a pravidelne trénovať senzorické, motorické a vizuálne schopnosti, dôležité pre pohyb, ak sa nekombinuje s konvenčným cvičením, môže brzdiť obnovu funkcií. Zvyšovanie výkonnosti pri tréningu vo virtuálnej realite totiž musí byť prevádzané aj do pohybových úloh v reálnom svete (Sisto aj., 2002, pp. 11-23).

2.2 MI v terapii hornej končatiny

2.2.1 Zrkadlová terapia

Prvé dôkazy o tom, že pozorovanie odrazu zdravej hornej končatiny v zrkadle môže napomôcť obnove funkcií paretickej končatiny poskytol Altschuler (Altschuler aj. 1999, pp. 2035-2036). Taktiež Sathian podporil tento názor výsledkami svojho výskumu kde použil zrkadlovú terapiu u pacienta s oslabenou funkciou paže najmä v dôsledku somatosenzorických deficitov po CMP. Terapia podporila zapojenie paretickej ruky do bimanuálnych aktivít, kde paretická ruka dopomáhala a po dlhšom tréningu aj do voľných pohybov samotnej paretickej ruky (Sathian aj., 2000, pp. 73-76).

Yavuzer pozoroval účinky zrkadlovej terapie u 40 pacientov po CMP, v čase maximálne 12 mesiacov od iktu. Zrkadlová terapia bola zaradená do konvenčného rehabilitačného programu, pozostávala z 30-minútového tréningu flexie a extenzie prstov a zápästia 5 dní v týždni po dobu 4 týždňov. Výsledkom bolo rozsiahlejšie zlepšenie funkcie ruky po 4 týždňoch

terapie a zachovalo sa aj v nasledujúcich 6 mesiacoch po jej ukončení (Yavuzer aj., 2007, pp. 393-398).

Taktiež Dohle podporuje tieto výsledky. V jeho experimente bolo 36 pacientov s ťažkou hemiparézou v dôsledku ischemickej CMP v povodí arteria cerebri media, v čase nie viac ako 8 týždňov po ikte zaradených do prídavného rehabilitačného programu, pozostávajúceho z terapie 30 minút denne, 5 dní v týždni po dobu 6 týždňov. Oproti kontrolnej skupine sa zlepšila distálna funkcia ruky a okrem toho bola u zrkadlovej terapie pozorovaná aj rýchlejšia obnova povrchovej citlivosti (Dohle aj., 2009, pp. 209-217).

Michielsen hodnotil účinky zrkadlovej terapie, vykonávanej v domácom prostredí. 20 pacientov absolvovalo raz do týždňa terapiu vedenú fyzioterapeutom a ďalších 5 dní v týždni cvičili sami doma. Tento rehabilitačný plán trval 6 týždňov. Po skončení tréningu boli zhodnotené zvýšenie pevnosti úchopu, zníženie spasticity a bolesti, taktiež zlepšenie obratnosti a schopnosti vykonávať bežné denné aktivity. Okrem toho sa v fMRI vyšetrení ukázal posun mozgovej aktivity v primárnej motorickej kôre smerom k postihnutej hemisfére. Tieto účinky však neboli dlhodobé (Michielsen aj., 2011, pp. 1-6).

Výsledky štúdií ukazujú pozitívne efekty zrkadlovej terapie na funkciu hornej končatiny, no je potrebné zamerať sa na zdokonalenie spôsobu jej vykonávania – určenie správnej intenzity a trvania tréningu tak, aby sa zlepšenia zachovali v dlhšom čase aj po skončení tréningu (Michielsen aj., 2011, pp. 1-6).

2.2.2 Mentálny tréning

Page sa venoval výskumu mentálneho tréningu v rehabilitácii hornej končatiny. V štúdiu z roku 2001 aplikoval konvenčnú terapiu paretickej hornej končatiny u 13 pacientov, 1 hodinu denne, 3x za týždeň po dobu 6 týždňov. U 8 pacientov bol ku každej takejto terapii pridaný 10-minútový mentálny tréning, ako aj domáci mentálny tréning dvakrát za týždeň. Konvenčná terapia nespôsobila výrazné zmeny, no v kombinácii s mentálnym tréningom bolo zlepšenie veľmi viditeľné (Page aj., 2001, pp. 1455-1462).

O niekoľko rokov neskôr Page ďalej skúmal účinok mentálneho tréningu u pacientov v chronickom štádiu po CMP pomocou fMRI. Tréning prebiehal trikrát do týždňa a pred aj po ňom boli pacienti vyšetrení. FMRI po tréningu flexie a extenzie zápästia paretickej ruky ukázalo výrazný vzostup v aktivácii premotorickej oblasti a primárnej motorickej kôry v oboch hemisférach a taktiež cortex parietalis superior ipsilaterálne k paretickej ruke. Tento efekt pretrvával približne 3 mesiace (Page aj., 2009, pp. 382-388).

V kombinácii s mentálnym tréningom je konvenčná terapia hornej končatiny po CMP efektívnejšia, než len samostatne, no sú potrebné nové rozsiahlejšie štúdie, ktoré tento výsledok podporia (Barclay-Goddard aj., 2011, pp. e574-e575).

2.2.3 Virtuálna realita

Analýzu výskumov, ktoré sa zaoberajú virtuálnou realitou a jej využitím v rehabilitácii po CMP uviedol Crosbie. Štúdie, zamerané na terapiu HK boli realizované na malých skupinách pacientov a ich výsledky v zlepšení funkcie hornej končatiny neboli výrazné, zároveň však nebol pozorovaný ani žiadny negatívny dopad na funkciu HK ani ohrozenie bezpečnosti pacienta pri ich vykonávaní (Crosbie aj., 2007, pp. 1139-1146).

O niekoľko rokov neskôr Saposnik uviedol prvú štúdiu, v ktorej bola ako prostriedok rehabilitácie po CMP testovaná technológia trojrozmernej virtuálnej reality na zariadení Nintendo Wii. Kontrolná skupina absolvovala rekreačnú terapiu a skupina, testujúca hraciu konzolu Wii, používala bezdrôtový ovládač, ktorý prostredníctvom systému detekujúceho pohyb, zaznamenával pohyby pacienta a tie boli reprodukované postavičkou na obrazovke. Tréning pozostával z ôsmich 60-minútových cvičení po dobu 2 týždňov. Pacienti hrali hry so zameraním na pohyby vo všetkých kĺboch HK, na rýchlosť a silu v závislosti na druhu hry. Výsledky ukázali, že tento druh terapie je pri dodržaní určených pravidiel bezpečný a využiteľný v domácom prostredí. Okrem toho sa ukázali výrazné zlepšenia vo funkcii HK – zvýšila sa rýchlosť voľných pohybov, sila úchopu a podľa spätnej väzby pacientov bolo zlepšenie citel'né aj v aktivitách bežného života (Saposnik aj., 2010, p. 1478).

Výskum zapojenia hier vo virtuálnej realite do neurorehabilitačných programov je zatiaľ obmedzený a taktiež chýbajú aj štúdie, ktoré by popisovali bezpečnosť, dostupnosť a efektivitu systémov virtuálnej reality v rehabilitácii pacientov po CMP v dostatočne veľkých testovaných skupinách (Saposnik aj., 2010, p. 1478).

2.3 MI v terapii neglect syndrómu

Neglect syndróm je prítomný u takmer 50% pacientov s pravostrannou CMP a má negatívny vplyv na funkčnú obnovu po ikte. Je to najčastejšia kognitívna porucha spojená s CMP. Dá sa ho označiť ako neschopnosť spracovávať a odpovedať na podnety v kontralaterálnej hemisfére a orientovať sa na nich, ktorá nie je spôsobená jednoduchým senzomotorickým deficitom (Pedroli aj., 2015, pp. 1-2).

2.3.1 Zrkadlová terapia a aktívne pozorovanie

Využitie zrkadlovej terapie u neglect syndrómu je preskúmané len v malej miere. Dohle vo svojej štúdii, využívajúcej zrkadlovú terapiu uvádza nielen zlepšenie funkcie distálnej časti HK a obnovu povrchovej citlivosti, ale i viditeľné zlepšenie neglect syndrómu. Keď pacient v zrkadle pozoruje pohyb na ľavej strane, ktorý sám vykonáva, facilituje tým ľavostrannú zrakovo-priestorovú orientáciu, ktorá je pri neglect syndróme narušená (Dohle aj., 2009, pp. 209-217).

System zrkadlových neurónov má významnú úlohu v motorickom učení a aktivuje sa pri vykonávaní aj pri pozorovaní pohybu. Na základe tejto informácie sa Wang snažil o aktiváciu systému zrkadlových neurónov pomocou pozorovania motorickej aktivity na videu. Pacienti pozorovali na videu najprv motorické aktivity hornej končatiny a následne sledovali dynamické obrazy prostredia (hory, rieky, lesy), v ktorých sa odohrával aj pohyb, no nebol v nich prítomný človek ani zviera. Podľa fMRI vyšetrenia sa pri pozorovaní pohybu ruky aktivovali oblasti systému zrkadlových neurónov, a to najmä v spodnej časti parietálneho laloka, čo je kľúčová oblasť pri vzniku neglect syndrómu. Aktivácia systému zrkadlových neurónov by na základe tohto zistenia mohla mať potenciál v jeho liečbe (Wang aj., 2015, pp. 1-4).

Somatoparafrenia a anozognózia

V rámci porúch vnímania vlastného tela v prostredí skúmal Fotopoulou účinky zrkadlovej terapie na somatoparafreniu. Ide o somatickú dezilúziu, ktorá sa prejavuje narušeným vnímaním ľavej polovice tela pacienta (pacient tvrdí, že mu nepatrí). Sebazpozorovanie v zrkadle má podľa neho pri somatoparafrenii pozitívny účinok a Fotopoulou taktiež tvrdí, že pozorovanie seba na videozázname obnovuje vedomie motorického deficitu a urýchľuje zotavenie u pacientov s anozognóziou (diagnóza, pri ktorej si pacient nie je schopný uvedomiť si svoj zdravotný stav) (Fotopoulou aj., 2011, pp. 3946-3955).

2.3.2 Ilúzia gumovej ruky

Tak, ako zrkadlová terapia sa v terapii neglect syndrómu využíva aj ilúzia gumovej ruky. Kitadono a Humphreys uvádzajú, že u pacienta s ľavostranným neglect syndrómom v dôsledku pravostranného poškodenia mozgu sa hneď po aplikácii ilúzie gumovej ruky dostaví krátkodobé zlepšenie. Pacient pociťuje posun vnímania pravej ruky smerom k gumovej ruke na ľavej strane (Kitadono a Humphreys, 2007, pp. 265-269).

Toto zlepšenie môže byť spôsobené zmenou v rozložení fyzikálnych veličín v pacientovom vnímaní svojho tela, ktoré terapia spôsobí stimuláciou priestorovej orientácie, modifikáciou zrakovo-motorického mapovania, alebo kombináciou týchto mechanizmov. To, že pacienti s neglect syndrómom reagujú na crossmodal ilúzie naznačuje, že multisenzorická integrácia je aj pri tomto neuropsychologickom syndróme vo veľkej miere zachovalá, a to aj napriek možnej prítomnosti rušivých vnemov z iných modalít (Bolognini aj., 2015, pp. 3-4).

2.3.3 Virtuálna realita

Z techník, využívajúcich multisenzorickú integráciu má tréning vo virtuálnej realite v liečbe neglect syndrómu najväčšie využitie. Testovanie pred a po rehabilitácii je zamerané na písanie, čítanie, rozoznávanie odtieňov farieb, ďalej sú vykonávané neuropsychologické testy a pacient vyplňuje aj dotazník (Pedroli aj., 2015, pp. 1-15).

Kim skúmal účinok tréningu vo virtuálnej realite vo forme jednoduchých úloh v porovnaní s konvenčnou terapiou neglect syndrómu (čítanie, písanie, kreslenie, prekresľovanie alebo skladanie puzzle). Terapia oboch skupín mala 30 minút, 5x do týždňa po dobu trochu týždňov. Zlepšenie v následnom testovaní sa ukázalo len u terapie využívajúcej virtuálnu realitu (Kim, 2011, pp. 309-315).

Taktiež Navarro uvádza pozitívne výsledky terapie s virtuálnou realitou. Pacienti mali za úlohu prechádzať cez virtuálnu ulicu. Skupina pacientov s neglect syndrómom robila väčšie chyby, ako ostatní pacienti, no po ukončení terapie bolo pozorované zlepšenie neglect syndrómu a výsledky korelovali s výsledkami neuropsychologických testov (Navarro aj., 2013, pp. 597-618).

Mainetti testoval na pacientovi svoju terapeutickú metódu s názvom „Duckneglect“. Pacient mal 65 rokov a bol v chronickom štádiu po CMP. V tejto terapii využíval špeciálne dizajnované hry, v ktorých mal pacient dosahovať za rôzne vzdialenými cieľmi a orientoval sa skrze zrkové a sluchové podnety. Rehabilitácia trvala 30 minút denne, 5 dní v týždni po dobu 1 mesiaca. O 5 mesiacov pacient prišiel na opätovné meranie a zistilo sa, že zlepšenia, dosiahnuté pri terapii sa aj po takej dlhej dobe vo veľkej miere zachovali a pacienti uvádzali zlepšenie aj v aktivitách bežného života (Mainetti aj., 2013, pp. 97-111).

O účinnosti techník, využívajúcich potenciál multisenzorickej integrácie v rehabilitácii pacientov po CMP existujú štúdie s pôsobivými výsledkami, no pre ich potvrdenie a generalizáciu je potrebné ich rozšírenie a najmä testovanie tejto terapie vo väčších skupinách.

To by mohlo viesť k častejšiemu zahrnutiu týchto techník do rehabilitačných programov (Rajaratnam aj., 2013, pp. 1-5).

Záver

Žijeme v multisenzorickom prostredí a sme obklopení množstvom zmyslových signálov, prostredníctvom ktorých získavame informácie o danom prostredí a našej pozícii v ňom. Síce sa často zdá, že každú udalosť v prostredí vnímame jedným konkrétnym zmyslom, v skutočnosti sú pre vytvorenie obrazu o udalosti v prostredí spracovávané a integrované signály z viacerých rôznych zmyslov. Tak získavame komplexnejšiu predstavu o danej udalosti, dokážeme ju rýchlejšie lokalizovať, rozpoznať a adekvátne na ňu reagovať. Čím väčšia je časová a priestorová zhoda medzi podnetmi, tým rýchlejšia a silnejšia je odpoveď na nich. Toto všetko sú princípy procesu multisenzorickej integrácie.

Multisenzorická integrácia sa odohráva na viacerých úrovniach mozgu; colliculus superior a špecializované oblasti mozgovej kôry boli v tomto zmysle skúmané najmä u mačiek a opíc. Pri porušení aj malej časti týchto štruktúr, či už vyššieho alebo nižšieho rádu, je proces multisenzorickej integrácie narušený a je tak zmenené i správanie jedinca.

Využitie multisenzorickej integrácie pri prítomnosti patologických zmien v mozgu podporuje využitie potenciálu tých zmyslov a štruktúr, ktoré ostali neporušené. Tým zvyšuje efektivitu učenia a podporuje kompenzáciu stratených motorických, somatosenzorických a kognitívnych funkcií. Techniky, ktoré tento proces využívajú v neurorehabilitácii sú zrkadlová terapia, ilúzia gumovej ruky, mentálny tréning a tréning vo virtuálnej realite.

Z týchto techník sa v terapii chôdze a funkcie dolných končatín sa zdá byť najúčinnjší mentálny tréning a tréning vo virtuálnej realite. Poskytujú bezpečné podmienky pre tréning, a to aj v domácom prostredí, sú nenáročné na vybavenie a nevyžadujú si veľké priestory. Podľa výskumov majú pozitívny vplyv na rýchlosť chôdze, dĺžku kroku, kadenciu, symetriu a celkovú sebaistotu pri chôdzi.

Pri neschopnosti alebo zníženej schopnosti pohybu hornej končatiny sú vhodnými technikami zrkadlová terapia a mentálny tréning. Problémom zrkadlovej terapie je však jej krátkodobý efekt, no mentálny tréning, dosahuje pozitívne a dlhodobé výsledky aj na základe fMRI vyšetrení. Pozitívny vplyv na funkčnú obnovu má aj virtuálna realita, okrem toho je zaujímavá svojou formou a motivuje pacienta k tréningu.

V oblasti kognitívnych porúch je podstatná najmä terapia neglect syndrómu. Pre uvedomenie si vlastného tela a priestoru má pozitívne výsledky terapia s využitím zrkadiel. Podľa fMRI vyšetrení podporuje aktiváciu zrkadlových neurónov v oblastiach, zodpovedných za vznik tohto syndrómu. Svoje využitie tu nachádza aj ilúzia gumovej ruky a virtuálna realita, ktorej výsledky vyzerajú veľmi sľubne.

V posledných desaťročiach sa teda výskum vplyvu týchto techník na funkčnú obnovu u pacientov po CMP veľmi rozvíja, avšak chýbajú výskumy v dostatočne veľkých skupinách ľudí. Môžeme teda predpokladať, že napriek tomu, že sú výsledky pozitívne a viditeľné, nie sú dostatočné na to, aby sa tieto techniky začali v terapii pacientov po CMP využívať vo väčšej miere.

Referenčný zoznam

ALTSCHULER, E. aj. Rehabilitation of hemiparesis after stroke with a mirror. *The Lancet*, 1999, roč. 535, vyd. 9169, pp. 2035-2036 [cit. 23.4.2017]. ISSN 0140-6736. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(99\)00920-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(99)00920-4).

BARCLAY-GODDARD, R. aj. Mental practice for treating upper extremity deficits in individuals with hemiparesis after stroke. *The Cochrane database of systematic reviews*, 2011, roč. 11, vyd. 5, pp. e574-e575 [cit. 5.4.2017]. ISSN 1469-493X. DOI: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD005950.pub4>.

BELDA-LOIS, J. aj. Rehabilitation of gait after stroke: a review towards a top-down approach. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 2011, roč. 8, vyd. 66, pp. 1-19 [cit. 27.4.2017]. ISSN 1743-0003. DOI: <https://doi.org/10.1186/1743-0003-8-66>.

BERENCSI, A. aj. The functional role of central and peripheral vision in the control of posture. *Human movement science*, 2005, vyd. 24, pp. 689-709 [cit. 23.3.2017]. ISSN 0167-9457. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.humov.2005.10.014>.

BŁASZCZYK, J. aj. Assessment of postural stability in young healthy subjects based on directional features of posturographic data: Vision and gender effects. *Acta neurobiologiae experimentalis*, 2014, roč. 74, vyd. 4, pp. 433-442 [cit. 23.3.2017]. ISSN 0065-1400. Dostupné z: <http://www.ane.pl/pdf/7441.pdf>.

BOLOGNINI, N. aj. Crossmodal illusions in neurorehabilitation. *Frontiers in behavioral neuroscience*, 2015, vyd. 9, pp. 1-4 [cit. 23.3.2017]. ISSN 1662-5153. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2015.00212>.

BURNETT, L. aj. Excitotoxic lesions of the superior colliculus preferentially impact multisensory neurons and multisensory integration. *Experimental brain research*, 2007, vyd. 179, pp. 325-338 [cit. 3.3.2017]. ISSN 1432-1106. DOI 10.1007/s00221-006-0789-8.

CALVERT, G. a THESEN, T. Multisensory integration: Methodological approaches and emerging principles in the human brain. *Journal of physiology Paris*, 2004, vyd. 98, pp. 191-205 [cit. 25.1.2017]. ISSN 0928-4257. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2004.03.018>.

CAPPE, C. aj. Multisensory anatomical pathways. *Hearing research*, 2009, vyd. 258, pp. 28-36 [cit. 14.3.2017]. ISSN 0378-5955. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heares.2009.04.017>.

CHRIST, O. a REINER, M. Perspectives and possible applications of the rubber hand and virtual hand illusion in non-invasive rehabilitation: Technological improvements and their consequences. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 2014, vyd. 44, pp. 33-44 [cit. 21.3.2017]. ISSN 0149-7634. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.02.013>.

CROSBIE, J. aj. Virtual reality in stroke rehabilitation: still more virtual than real. *Disability and rehabilitation*, 2007, roč. 29, vyd. 14, pp. 1139-1146 [cit. 24.3.2017]. ISSN 0963-8288. DOI: <https://doi.org/10.1080/09638280600960909>.

CULLEN, K. The vestibular system: Multimodal integration and encoding of self-motion for motor control. *Trends in neurosciences*, 2012, roč. 35, vyd. 3, pp. 185-196 [cit. 25.2.2017]. ISSN 0166-2236. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016%2Fj.tins.2011.12.001>.

DE VRIES, S. a MULDER, T. Motor imagery and stroke rehabilitation: A critical discussion. *Journal od rehabilitation medicine*, 2007, roč. 39, vyd. 1, pp. 5-13 [cit. 25.2.2017]. ISSN 1651-2081. DOI: <https://doi.org/10.2340/16501977-0020>.

DICKSTEIN, R. aj. Motor imagery for gait rehabilitation in post-stroke hemiparesis. *Physical therapy*, 2004, roč. 84, vyd. 12, pp. 1167-1177 [cit. 13.4.2017]. ISSN 1538-6724. DOI: [10.1097/MRR.0b013e328010f559](https://doi.org/10.1097/MRR.0b013e328010f559).

DOHLE, C. aj. Mirror therapy promotes recovery from severe hemiparesis: A randomized controlled trial. *Neurorehabilitation and neural Repair*, 2009, vyd. 23, pp. 209–217 [cit. 30.3.2017]. ISSN 1545-9683. DOI: <https://doi.org/10.1177/1545968308324786>.

DRIVER, J. a NOESSELT, T. Multisensory interplay reveals crossmodal influences on ‘sensory-specific’ brain regions, neural responses and judgments. *Neuron*, 2008, vyd. 57, pp. 28-36 [cit. 23.3.2017]. ISSN 0896-6273. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016%2Fj.neuron.2007.12.013>.

DUNSKY, A. aj. Home-based motor imagery training for gait rehabilitation of people with chronic poststroke hemiparesis. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 2008, roč. 89, vyd. 8, pp. 1580-1584 [cit. 23.3.2017]. ISSN 0003-9993. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.12.039>.

FOTOPOULOU, A. aj. Mirror-view reverses somatoparaphrenia: Dissociation between first- and third-person perspectives on body ownership. *Neuropsychologia*, 2011, vyd. 49, pp. 3946-3955 [cit. 23.3.2017]. ISSN 0028-3932. Dostupné z: <http://ac.els->

cdn.com/S0028393211004763/1-s2.0-S0028393211004763-main.pdf?_tid=56d340ae-1cb9-11e7-8970-00000aab0f02&acdnat=1491696981_739ed4640a95db2ebaa2b8e6c94887bc.

FRASSINETTI, F. a PAVANI, F. Acoustical vision of neglected stimuli: Interaction among spatially converging audiovisual inputs in neglect patients. *Journal of cognitive neuroscience*, 2002, roč. 14, vyd. 1, pp. 62–69 [cit. 25.1.2017]. ISSN 0898-929X. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.10.011>.

FUSTER, J. aj. Cross-modal and cross-temporal association in neurons of frontal cortex. *Nature*, 2000, vyd. 405, pp. 347–351 [cit. 27.3.2017]. ISSN 0028-0836. DOI: [10.1038/35012613](https://doi.org/10.1038/35012613).

GEURTS, CH. aj. A review of standing balance recovery from stroke. *Gait & posture*, 2005, roč. 22, vyd. 3, pp. 267–281 [cit. 25.1.2017]. ISSN 0966-6362. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2004.10.002>.

GHAZANFAR, A. a SCHROEDER, C. Is neocortex essentially multisensory?. *Trends in cognitive sciences*, 2006, roč. 10, vyd. 6, pp. 278–285 [cit. 25.2.2017]. ISSN 1364-6613. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.04.008>.

GRAZIANO, M. aj. Complex movements evoked by microstimulation of precentral cortex. *Neuron*, 2002, vyd. 34, pp. 841–851 [cit. 2.4.2017]. ISSN 0896-6273. Dostupné z: http://ac.els-cdn.com/S0896627302006980/1-s2.0-S0896627302006980-main.pdf?_tid=8feefc8c-1cb1-11e7-acfd-00000aacb35e&acdnat=1491693640_4ef353de4e6eb32a460d2a1c6c2ae085.

HOUSMAN, S. aj. A randomized controlled trial of gravity-supported, computer-enhanced arm exercise for individuals with severe hemiparesis. *Neurorehabilitation and neural repair*, 2009, roč. 23, vyd. 5, pp. 505–514 [cit. 27.3.2017]. ISSN 15459683. DOI: <https://doi.org/10.1177/1545968308331148>.

HOWARD, I. a TEMPLETON, W. Human Spatial Orientation. 1966 in STEIN, B. a STANFORD, T. Multisensory integration: Current issues from the perspective of the single neuron. *Nature reviews Neuroscience*, 2008, roč. 9, vyd. 4, p. 257 [cit. 2.1.2017]. ISSN 1471-003X. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrn2331>.

JEKA, J. aj. Multisensory information for human postural control: Integrating touch and vision. *Experimental brain research*, 2000, roč. 134, vyd. 1, pp. 107–125 [cit. 2.1.2017]. ISSN 1432-1106. DOI: [10.1007/s002210000412](https://doi.org/10.1007/s002210000412).

JIANG, W. aj. Multisensory orientation behavior is disrupted by neonatal cortical ablation. *Journal of neurophysiology*, 2007, roč. 97, vyd. 1, pp. 557-562 [cit. 26.2.2017]. ISSN 0022-3077. DOI: <https://doi.org/10.1152/jn.00591.2006>.

JIANG, W. aj. Two cortical areas mediate multisensory integration in superior colliculus neurons. *Journal of neurophysiology*, 2001, roč. 85, vyd. 2, pp. 506-522 [cit. 26.2.2017]. ISSN 0022-3077. DOI: <http://jn.physiology.org/content/jn/85/2/506.full.pdf>.

JOHANSSON, B. Current trends in stroke rehabilitation. A review with focus on brain plasticity. *Acta neurologica scandinavica*, 2010, vyd. 123, pp. 147-159 [cit. 2.12.2016]. ISSN 1600-0404. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.2010.01417.x>.

JOHANSSON, B. Multisensory stimulation in stroke rehabilitation. *Frontiers in human neuroscience*, 2012, vyd. 6, p. 1-11 [cit. 28.12.2016]. ISSN 1662-5161. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00060>.

KAMMERS, M. aj. The rubber hand illusion in action. *Neuropsychologia*, 2009, vyd. 47, pp. 204-211 [cit. 20.3.2017]. ISSN 0028-3932. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.07.028>.

KAMMERS, M. aj. Obrázok 3: Ilúzia gumovej ruky. The rubber hand illusion in action. *Neuropsychologia*, 2009, vyd. 47, pp. 204-211 [cit. 20.3.2017]. ISSN 0028-3932. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.07.028>.

KAVOUNOUDIAS, A. aj. Foot sole and ankle muscle inputs contribute jointly to human erect posture regulation. *Journal of physiology*, 2001, roč. 532, vyd. 3, pp. 869-878 [cit. 28.2.2016]. ISSN 1469-7793. DOI: <https://dx.doi.org/10.1111%2Fj.1469-7793.2001.0869e.x>.

KIM, Y. aj. The effect of virtual reality training on unilateral spatial neglect in stroke patients. *Annals of rehabilitation medicine*, 2011, roč. 35, vyd. 3, pp. 309-315 [cit. 28.4.2016]. ISSN 2234-0645. DOI: <https://doi.org/10.5535/arm.2011.35.3.309>.

KITADONO, K. a HUMPHREYS, G. Short-term effects of the 'Rubber Hand' illusion on aspects of visual neglect. *Neurocase*, 2007, vyd. 13, pp. 260-271 [cit. 28.4.2016]. ISSN 1465-3656. DOI: [10.1080/13554790701625815](https://doi.org/10.1080/13554790701625815).

von KRIEGSTEIN, K. aj. Interaction of face and voice areas during speaker recognition. *Journal of cognitive neurosciences*, 2005, vyd. 17, pp. 367-376 [cit. 2.4.2017]. ISSN 0898-929X. DOI: <https://doi.org/10.1162/0898929053279577>.

- LAM, Y. aj. Virtual reality training for stroke rehabilitation. *Neurorehabilitation*, 2006, roč. 21, vyd. 3, pp. 245-253 [cit. 28.4.2016]. ISSN 1878-6448. Dostupné z: <http://content.iospress.com/articles/neurorehabilitation/nre00322>.
- LAVIER, K. aj. Virtual reality for stroke rehabilitation (Review). *The Cochrane database of systematic reviews*, 2015, vyd. 2, pp. 1-107 [cit. 5.4.2017]. ISSN 1469-493X. DOI: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008349.pub3>.
- LIONS, C. aj. Importance of visual inputs quality for postural stability in strabismic children. *Neuroscience letters*, 2016, vyd. 617, pp. 127-133 [cit. 28.12.2016]. ISSN 0304-3940. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2016.02.008>.
- LORD, S. aj. Community ambulation after stroke: How important and obtainable is it and what measures appear predictive?. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 2004, roč. 85, vyd. 2, pp. 234-239 [cit. 25.4.2017]. ISSN 0003-9993. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.apmr.2003.05.002>.
- LORD, S. a MENZ, H. Visual contributions to postural stability in older adults. *Gerontology*, 2000, roč. 46, vyd. 6, pp. 306-310 [cit. 27.2.2017]. ISSN 0304-324X. DOI: <https://doi.org/22182>.
- MAINETTI, R. aj. Duckneglect: video-games based neglect rehabilitation. *Technology and health care: Official journal of the European society for engineering and medicine*, 2013, roč. 21, vyd. 2, pp. 97-111 [cit. 20.4.2017]. ISSN 1878-7401. DOI: <https://doi.org/10.3233/THC-120712>.
- MALOUIN, F. aj. Working memory and mental practice outcomes after stroke. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, roč. 85, vyd. 2, pp. 177-183 [cit. 21.4.2017]. ISSN 0003-9993. DOI: [http://doi.org/10.1016/S0003-9993\(03\)00771-8](http://doi.org/10.1016/S0003-9993(03)00771-8).
- MALOUIN, F. a RICHARDS, C. Mental practice for relearning locomotor skills. *Physical therapy*, 2010, roč. 90, vyd. 2, pp. 240-251 [cit. 2.4.2017]. ISSN 1538-6724. DOI: <https://doi.org/10.2522/ptj.20090029>.
- MERIAN, A. aj. Virtual reality-augmented rehabilitation for patients following stroke. *Physical therapy*, 2002, roč. 82, vyd. 9, pp. 898-915 [cit. 12.4.2017]. ISSN 1538-6724. DOI: [10.1093/ptj/82.9.898](https://doi.org/10.1093/ptj/82.9.898).

MCCABE, C. Obrázok 2: Zrkadlová terapia. Mirror visual feedback therapy. A practical approach. *Journal of hand therapy*, 2011, roč. 24, vyd. 2, pp. 170-178 [cit. 20.3.2017]. ISSN 0894-1130. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jht.2010.08.003>.

MCGURK, H. a MACDONALD, J. Hearing lips and seeing voices. *Nature*, 1976 in STEIN, B. a STANFORD, T. Multisensory integration: Current issues from the perspective of the single neuron. *Nature reviews Neuroscience*, 2008, roč. 9, vyd. 4, p. 257 [cit. 2.1.2017]. ISSN 1471-003X. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrn2331>.

MICHIELSEN, M. aj. The neuronal correlates of mirror therapy: An fMRI study on mirror induced visual illusions in patients with stroke. *Journal of neurology, neurosurgery & psychiatry*, 2010, roč. 82, vyd. 4, pp. 1-6 [cit. 21.3.2017]. ISSN 0022-3050. DOI: <https://doi.org/10.1136/jnnp.2009.194134>.

NAVARRO, M. aj. Validation of low-cost virtual reality system for training street-crossing. A comparative study in healthy, neglected and non-neglected stroke individuals. *Neuropsychological rehabilitation*, 2013, vyd. 4, pp. 597-618 [cit. 21.3.2017]. ISSN 0960-2011. DOI: <https://doi.org/10.1080/09602011.2013.806269>.

NOJIMA, I. aj. Human motor plasticity induced by mirror visual feedback. *Journal of Neuroscience*, 2012, vyd. 32, pp. 1293–1300. [cit. 23.3.2017]. ISSN 1529-2401. DOI: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5364-11.2012>.

NYBERG, L. aj. Learning by doing versus learning by thinking: An fMRI study of motor and mental training. *Neuropsychologia*, 2006, roč. 44, vyd. 5, pp. 711-717 [cit. 30.3.2017]. ISSN 0028-3932. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.08.006>.

OLIVEIRA, C. aj. Balance control in hemiparetic stroke patients: Main tools for evaluation. *Journal of rehabilitation research and development*, 2008, roč. 45, vyd. 8, pp. 1215-1226 [cit. 22.1.2017]. ISSN 0742-3241. Dostupné z: http://www.producao.usp.br/bitstream/handle/BDPI/15238/art_OLIVEIRA_Balance_control_in_hemiparetic_stroke_patients_Main_2008.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

OLSSON, C. aj. Learning by doing and learning by thinking: An fMRI study of combining motor and mental training. *Frontiers in human neurosciences*, 2008, roč. 2, vyd. 5, pp. 1-7 [cit. 30.3.2017]. ISSN 1662-5161. DOI: <https://dx.doi.org/10.3389%2Fneuro.09.005.2008>.

PAGE, S. aj. Mental practice combined with physical practice for upper-limb motor deficit in subacute stroke. *Physical therapy*, 2001, roč. 81, vyd. 8, pp. 1455-1462 [cit. 23.4.2017]. ISSN 1538-6724. DOI: 10.1093/ptj/81.8.1455.

PAGE, S. aj. Cortical plasticity following motor skill learning during mental practice in stroke. *Neurorehabilitation and neural repair*, 2009 roč. 23, vyd. 4, pp. 382-388 [cit. 25.3.2017]. ISSN 1552-6844. DOI: <https://doi.org/10.1177/1545968308326427>.

PAGE, S. a PETERS, H. Mental practice: Applying motor practice and neuroplasticity principles to increase upper extremity function. *Stroke*, 2014, roč. 45, vyd. 11, pp. 3454-3460 [cit. 23.3.2017]. ISSN 1524-4628. DOI: <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.114.004313>.

PASCUAL-LEONE, A. aj. Modulation of muscle responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills. *Journal of neurophysiology*, 1995, roč. 74, vyd. 3, pp. 1037-1045 [cit. 21.4.2017]. ISSN 1522-1598. Dostupné z: <http://jn.physiology.org/content/74/3/1037>.

PEDROLI, E. aj. Assessment and rehabilitation of neglect using virtual reality: A systematic review. *Frontiers in behavioral neurosciences*, 2015, roč. 9, vyd. 226, pp. 1-15 [cit. 21.4.2017]. ISSN 1662-5153. DOI: <https://dx.doi.org/10.3389/fnbeh.2015.00226>.

POLASTRI, F. aj. Dynamics of inter-modality re-weighting during human postural control. *Experimental brain research*, 2012, vyd. 223, pp. 99-108 [cit. 23.3.2017]. ISSN 1432-1106. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00221-012-3244-z>.

RADEAU, M. Auditory–visual spatial interaction and modularity. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition*, 1994 in CALVERT, G. THESEN, T. Multisensory integration: methodological approaches and emerging principles in the human brain. *Journal of Physiology Paris*, 2004, vyd. 98, pp. 192 [cit. 25.1.2017]. ISSN 0928-4257. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2004.03.018>.

RAJARATNAM, B. aj. Does the inclusion of virtual reality games within conventional rehabilitation enhance balance retraining after a recent episode of stroke?. *Rehabilitation research and practice*, 2013, pp. 1-5 [cit. 25.4.2017]. ISSN 2090-2875. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/649561>.

RANGANATHAN, V. aj. From mental power to muscle power - Gaining strength by using the mind. *Neuropsychologia*, 2004, vyd. 42, pp. 944–956 [cit. 30.3.2017]. ISSN 0028-3932. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2003.11.018>.

SAPOSNIK, G. aj. Effectiveness of virtual reality using Wii gaming technology in stroke rehabilitation. *Stroke*, 2010, roč. 41, vyd. 7, pp. 1477-1484 [cit. 19.4.2017]. ISSN 1524-4628. DOI: <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.110.584979>.

SAPOSNIK, G. aj. Virtual reality in stroke rehabilitation. *Stroke*, 2011, roč. 42, vyd. 5, pp. 1380-1386 [cit. 10.4.2017]. ISSN 1524-4628. DOI: <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.110.605451>.

SATHIAN, K. aj. Doing it with mirrors: A case study of a novel approach to neurorehabilitation. *Neurorehabilitation and neural repair*, 2000, roč. 14, vyd. 1, pp. 73-76 [cit. 19.4.2017]. ISSN 1545-9683. DOI: <https://doi.org/10.1177/154596830001400109>.

SCHLACK, A. aj. Multisensory space representations in the macaque ventral intraparietal area. *Journal of neuroscience*, 2005, vyd. 25, pp. 4616–4625 [cit. 24.3.2017]. ISSN 1529-2401. DOI: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0455-05.2005>.

SCHÖNER, G. Dynamic theory of action-perception patterns: the „moving room“ paradigm. *Biological cybernetics*, 1991 in JEKA, J. aj. Multisensory information for human postural control: integrating touch and vision. *Experimental brain research*, 2000, roč. 134, vyd. 1, pp. 108 [cit. 2.1.2017]. ISSN 1432-1106. DOI: 10.1007/s002210000412.

SIMONEAU, G. aj. Role of somatosensory input in the control of human posture. *Gait & posture*, 1995, roč. 3, vyd. 3, pp. 115-122 [cit. 20.1.2017]. ISSN 0966-6362. DOI: [https://doi.org/10.1016/0966-6362\(95\)99061-O](https://doi.org/10.1016/0966-6362(95)99061-O).

SISTO, S. aj. Virtual reality applications for motor rehabilitation after stroke. *Topics in stroke rehabilitation*, 2002, roč. 8, vyd. 4, pp. 11-23 [cit. 10.4.2017] ISSN 1074-9357. DOI: <https://doi.org/10.1310/YABD-14KA-159P-MN6F>.

SOTO-FARACO, S. aj. Tactile selective attention and body posture: Assessing the multisensory contributions of vision and proprioception. *Attention, perception, & psychophysics*, 2004, roč. 66, vyd. 7, pp. 1077-1094 [cit. 20.1.2017]. ISSN 1943-393X. DOI: 10.3758/BF03196837.

STEIN, B. aj. Development of multisensory integration from the perspective of the individual neuron. *Nature reviews Neuroscience*, 2014, roč. 15, vyd. 8, pp. 520-535 [cit. 10.2.2017]. ISSN 1471-003X. DOI: 10.1038/nrn3742.

STEIN, B a ROWLAND, B. Organization and plasticity in multisensory integration: Early and late experience affects its governing principles. *Progress in brain research*, 2011, vyd. 191, pp. 145-163 [cit. 23.1.2017]. ISSN 0079-6123. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53752-2.00007-2>.

STEIN, B. a STANFORD, T. Multisensory integration: Current issues from the perspective of the single neuron. *Nature reviews neuroscience*, 2008, roč. 9, vyd. 4, pp. 255-266 [cit. 2.1.2017]. ISSN 1471-003X. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrn2331>.

STEIN, B. a STANFORD, T. Obrázok 1: Multisenzorické oblasti mozgovej kôry. Multisensory integration: Current issues from the perspective of the single neuron. *Nature reviews Neuroscience*, 2008, roč. 9, vyd. 4, pp. 262 [cit. 2.1.2017]. ISSN 1471-003X. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrn2331>.

VERMA, R. aj. Understanding gait control in post-stroke: Implications for management. *Journal of bodywork and movement therapies*, 2012, vyd. 16, pp. 14-21 [cit. 10.4.2017]. ISSN 1360-8592. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2010.12.005>.

WANG, W. aj. Mirror neuron therapy for hemispatial neglect patients. *Scientific reports*, 2015, roč. 5, vyd. 8664, pp. 1-4 [cit. 22.4.2017]. ISSN 2045-2322. DOI: <https://dx.doi.org/10.1038/srep08664>.

YANG, Y. aj. Virtual reality-based training improves community ambulation in individuals with stroke: A randomized controlled trial. *Gait & posture*, 2008, roč. 28, vyd. 2 [cit. 19.4.2017]. ISSN 0966-6362. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.11.007>.

YANG, Y. aj. Obrázok 4: Tréning na chodiacom páse v kombinácii s virtuálnou realitou. Virtual reality-based training improves community ambulation in individuals with stroke: A randomized controlled trial. *Gait & posture*, 2008, roč. 28, vyd. 2 [cit. 19.4.2017]. ISSN 0966-6362. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.11.007>.

YAVUZER, G. aj. Mirror therapy improves hand function in subacute stroke: A randomized controlled trial. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 2008, roč. 89, vyd. 3, pp. 393-398 [cit. 17.4.2017]. ISSN 0003-9993. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.08.162>.

YOU, S. aj. Virtual reality-induced cortical reorganization and associated locomotor recovery in chronic stroke. *Stroke*, 2005, roč. 36, vyd. 6, pp. 1166-1171 [cit. 22.4.2017]. ISSN 1524-4628. DOI: <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000162715.43417.91>.

Zoznam skratiek

CMP - cievna mozgová príhoda

DK - dolná končatina

EEG - elektroencefalografia

EMG - elektromyografia

fMRI – funkčná magnetická rezonancia

HK – horná končatina

LIP - laterálna intraparietálna oblasť

MI – multisenzorická integrácia

MIP - mediálna intraparietálna oblasť

rSSL - rostrálna časť sulcus suprasylvii lateralis

SEA - sulcus ectosylvii anterior

STS - sulcus temporalis superior

VIP - ventrálna intraparietálna oblasť

VLPFC - ventro-laterálna prefrontálna kôra

Zoznam obrázkov

Obrázok 1: Multisenzorické oblasti v mozgovej kôre (Stein a Stanford, 2008, p. 262)

Obrázok 2: Zrkadlová terapia (McCabe, 2011, p. 171)

Obrázok 3: Ilúzia gumovej ruky (Kammers, 2009, p. 205)

Obrázok 4: Tréning na chodiacom páse v kombinácii s virtuálnou realitou (Yang, 2008 p. 203)