

Robotická rehabilitace pacientů s parézou horní končetiny po cévní mozkové příhodě

MUDr. Šárka Daňková^{1,2}, doc. MUDr. Dalibor Pastucha, Ph.D., MBA³

¹Klinika léčebné rehabilitace Fakultní nemocnice Ostrava

²Ústav epidemiologie a ochrany veřejného zdraví, Lékařská fakulta, Ostravská univerzita, Ostrava

³Ostravská univerzita, Lékařská fakulta, Ústav rehabilitace, Ostrava

Příspěvek nabízí čtenáři náhled do problematiky robotické rehabilitace pacientů s parézou horní končetiny vzniklou následkem iktu. Poskytuje základní orientaci v klasifikaci robotických zařízení a shrnuje aktuální vědecké poznatky a perspektivu dalšího využití těchto moderních technologií.

Klíčová slova: cévní mozková příhoda, hemiparéza, roboticky asistovaná rehabilitace, neuroplasticita, zpětná vazba.

Robot assisted rehabilitation in post stroke patients with upper limb paresis

The aim of this article is to give the insight to the field of robot assisted rehabilitation in patients with post stroke upper limb paresis. The article provides the reader with basic classification of robotic devices and summarizes actual scientific evidence and the perspective of their use in the future.

Key words: stroke, hemiparesis, robot assisted rehabilitation, neuroplasticity, feedback.

Úvod

Cévní mozkové příhody (dále jen CMP) jsou jednou z nejčastějších příčin mortality a invalidity. S neustálým rozvojem invazivních terapeutických metod narůstá počet přeživších. Postižení horních končetin omezuje nezávislost a soběstačnost jednotlivců. Mnoho z nich po CMP zůstává plně nebo částečně odkázaných na pomoc příbuzných či na ústavní péči, což vyúsťuje v závažný socioekonomický problém. Intenzivní a repetitivní charakter neurorehabilitace pohybových aktivit představuje významnou zátěž terapeutického personálu. Délka akutní rehabilitace se navíc z finančních důvodů neustále zkracuje (Richards et al., 2008).

Cílem současné neurorehabilitace je brzké dosažení soběstačnosti a reintegrace pacientů po CMP do společnosti. Obecným předpokladem uspokojivých výsledků neurorehabilitace je její časné zahájení, vysoká intenzita tréninku, správné

načasování a cílená terapie zaměřená na plnění úkolů (task oriented training) (Platz, 2003; Feys et al., 2004). Nezbytnou podmínkou je stabilizovaný zdravotní stav pacienta, jeho soustředěnost, snaha a motivace (Patton, Small et Rymer, 2008). Robotická rehabilitační zařízení se během posledního desetiletí na četných světových klinických pracovištích osvědčila nejen jako nástroj léčebný, ale i jako exaktní evaluační pomůcka.

Současné poznatky o časovém průběhu údravy pacienta

Podle týmu Huanga a Krakauera pouze 33–70% pacientů dospěje ke schopnosti postiženou končetinu používat. Nejlepším prediktorem úpravy funkce paže je počáteční závažnost hemiparézy. Dle měření Fugl-Meyer Assessment scale má rehabilitace během pěti měsíců po CMP pouze malý dopad na úpravu poruchy. Mnohem více ale ovlivňuje funkci. Současné

rehabilitační programy sice urychlují průběh funkční údravy, ale v jejím konečném stupni mají malý vliv. V akutních stádiích by bylo účinnější zaměřit úsilí spíše na obnovu poruchy a vyvarovat se předčasného důrazu na její kompenzaci (Huang et Krakauer, 2009). Dle studie Kwakkela a kol. jsou prokázány významně lepší výsledky v oblasti funkčních kategorií u skupiny léčené roboticky asistovanou rehabilitací (Kwakkel, Kollen et Wagenaar, 2002).

Metodika

Cílem mého příspěvku je přiblížit čtenáři oblast robotické rehabilitace horní končetiny u pacientů po CMP. Prvním krokem ve výzkumném rámci byla rozsáhlá rešerše legislativy a relevantní literatury v databázích PubMed, Google Scholar, Hocom knowledge platform a referenční vybraných publikací za období od roku 1997 do roku 2016.



KORESPONDENČNÍ ADRESA AUTORA: MUDr. Šárka Daňková, sarka.dankova@fno.cz
Klinika léčebné rehabilitace Fakultní nemocnice Ostrava
17. listopadu 1 780, 708 52 Ostrava – Poruba

Cit. zkr: Neurol. praxi 2018; 19(4): 290–293
Článek přijat redakcí: 14. 5. 2017
Článek přijat k publikaci: 30. 11. 2017

Obr. 1. Amadeo



Obr. 2. Armeo Boom



Klasifikace robotických zařízení

Rehabilitační roboti se řadí do oblasti pokročilých rehabilitačních technologií (advanced rehabilitation technologies) (Vařeka, Bednář et Vařeková, 2016). Jsou to motorizovaná zařízení dovolující mobilizaci končetiny pro senzomotorickou rehabilitaci a potenciálně také pro rehabilitaci kognitivní. Většina robotů umožňuje interakci s virtuálním prostředím (Laffont et al., 2016). Jejich konstrukce zahrnuje senzory, pohonné a řídicí jednotky. Robotická rehabilitační zařízení lze dělit podle jejich charakteristik a rozmanitých kritérií, pro přehlednost uvádím následující (Maciejasz et al., 2014):

Podle mechanické konstrukce se robotická zařízení dělí do tří kategorií:

- **Zařízení exoskeletonového typu** – osa ramene zařízení je rovnoběžná s anatomicou

Obr. 3. Armeo Power



Obr. 4. Armeo Spring



osou pacientovy končetiny. Jedná se o přímo kontrolovatelný pohyb jednotlivých segmentů v kloubech. Minimalizuje abnormální posturu nebo pohyby. Konfigurace končetiny a aplikovaná síla jsou plně specifikovány, dovolují nezávislé měření sil v jednotlivých kloubech, což je cenným zdrojem dat pro následnou analýzu a evaluaci pacientů. (Armeo Power®, Hocoma AG), (obrázek 3).

- **End-efektorová zařízení** – dovolují mobilizaci končetiny z distálního bodu, mají omezenou možnost kontroly proximálních částí. Dochází k řetězení pohybů, end-efektor tak nepřímě mění pozici vzdálených segmentů pacientova těla. Pohyby jednotlivých úseků jsou obtížně izolovatelné. (Amadeo®, Tyromotion GmbH) (obrázek 1).
- **Systémy kombinované** – exoskeleton zaujímá pouze distální část – loket, předloktí a zápěstí.

Ramenní kloub však není omezen v pohybu. (Armeo Spring®, Hocoma AG) (obrázek 4).

V závislosti na typu pohonu:

- elektrické
- hydraulické
- pneumatické

Podle terapeutického uplatnění:

- zařízení k podpoře ADL (zdokonalení úchopu a eliminace třesu)
- zařízení k fyzikální terapii

Podle míry asistence vyžadované pacientem se dělí do čtyř skupin:

- **Aktivní** zařízení aktivně asistují pohybu nemocného, mohou provádět pohyby končetinou. Součástí bývá antigravitační podpora. Vyžadují pohonnou jednotku, lze je využít

u pacientů s absencí svalové aktivity (*Armeo Power*®, *Hocoma AG*) (obrázek 3).

- **Pasivní** zařízení nemají schopnost pohybu končetinou, mohou odporovat chybně prováděným pohybům. Zahrnují také systémy k eliminaci třesu. Nevyžadují pohonnou jednotku, jsou konstrukčně jednodušší, bezpečnější a levnější. Mohou být využity u lehčích stupňů postižení (*Armeo Boom*®, *Hocoma AG*) (obrázek 2).
- **Haptická** zařízení interagují s nemocným pomocí hmatového rozhraní. Jsou aktivní nebo pasivní. Jejich účelem není provokovat pohyb nebo mu bránit, ale generovat taktilní stimuly (*Haptic Master*® – *Moog, Inc*) (obrázek 5).
- **Coachingová** zařízení neasistují ani přímo nekladou odpor. Využívají virtuální realitu (terapeutické hry), poskytují pacientovi zpětnou vazbu (*Armeo Spring*®, *Hocoma AG*) (obrázek 4).

Dalším kritériem, podle kterého lze rovněž robotická zařízení klasifikovat, je **počet stupňů volnosti – DOF (degrees of freedom)**. Popisuje součet všech nezávislých pohybů, které mohou být prováděny ve všech kloubech exoskeletu. Je definován k přesnému určení pozice jednotlivých segmentů zařízení. Dále lze roboty dělit dle počtu rovin, ve kterých fungují.

Neurofyziologické principy

Při cévních onemocněních mozku dochází ke strukturálnímu i funkčnímu poškození nervové tkáně v různém rozsahu. V závislosti na místě poškození se vyvíjejí ložiskové příznaky. Vzniká omezení motoriky – paréza a/nebo plegie, deficit senzoryckých či symbolických funkcí, poruchy vědomí, rovnováhy či koordinace. Poruchy funkce horní končetiny patří k nejčastějším a terapeuticky obtížně ovlivnitelným deficitům.

Diferencovaná a úkolově zaměřená manipuláční funkce ruky je extrémně kortikalizovaná. Její řízení je výrazně stranově diferencováno, vyžaduje zapojení primárního motorického kortexu. Naproti tomu, funkce pletenců jsou řízeny více bilaterálně, přičemž se aktivují spíše suplementární motorická area, premotorická oblast a samozřejmě regiony subkortikální. Funkce ruky má výraznou kognitivní a vizuospatální komponentu. U nemocných po CMP se funkce ruky navrácí nejpозději. Ruka bývá v horším funkčním stavu, než rameno. Po iktu se aktivita přesouvá ze zasaženého primárního kortexu k méně diferen-

Obr. 5. *Haptic Master*



covanému řízení suplementární a premotorické arey (Mayer et Hluštík, 2004). V pozadí tohoto jevu stojí proces **kompetice kortikálních reprezentací**. Ta část těla, která je používána, trénována a stimulována, přebírá motorickou kůru sousedním oblastem. Pokud je tedy nadměrně aktivováno rameno, nedosáhne se optimální funkce ruky. Naopak aktivace ruky vede k aktivaci ramene a jeho centraci (Mayer et Hluštík, 2004).

Neuroplasticita

Lidský mozek disponuje schopností neuroplasticity, která je nejvyšší v raném období ontogeneze, zvyšuje se ale i po poškození mozkové tkáně. Dle Trojan a Pokorného je plasticita specifická schopnost nervového systému reagovat na změny vnitřního a zevního prostředí, případně se jim přizpůsobit, a to za fyziologických i patologických podmínek.

Rozlišujeme dva typy neuroplasticity – **funkční neuroplasticita** nastupující brzy po poškození a projevující se reverzibilními změnami a **plasticita adaptační** na základě změn exprese genotypu ve fenotyp. Jde o geneticky naprogramovaný děj, který je nastartován změnami, navozenými daným patologickým procesem (Trojan et Pokorný 1997; Otaka et al., 2015).

Podle doby působení vlivů rozeznáváme čtyři druhy neuroplasticity: Za vývoje se uplatňuje plasticita **evoluční**, při krátkodobé expozici plasticita **reaktivní**, při dlouhodobé zátěži plasticita **adaptační**. Při funkční a motorické obnově poškozených neuronálních okruhů plasticita **reparační** (Trojan et Pokorný, 1997).

Na obnově funkce poškozené mozkové tkáně se podílejí dva odlišné procesy (Buma, Kwakkel et Ramsey 2013):

- Prává obnova nervové tkáně – **RESTITUCE** funkce odrážející návrat nebo úpravu tělesných funkcí (zmírnění poruchy), která vyúsťuje ve znovuobjevení funkce akrální části těla interagující s okolím.
- Reakvizice dovedností – **SUBSTITUTE** dovedností cestou motorické kompenzace na úrovni aktivit.

Jak restituce, tak substitute znamenají, že nemocní jsou schopni splnit úkol, ale liší se ve způsobu (kvalitě) jeho provedení (Buma, Kwakkel et Ramsey, 2013). Duff a kolegové ukázali, že úprava motorického řízení paretické horní končetiny je doprovázena zlepšením maximální rychlosti provedení, plynulosti pohybu, jeho efektivity a stálosti trajektorie ruky na cíl. Taktéž jsou redukovány kompenzační pohyby ramene a trupu a synkinézy v oblasti lokte a ramene při plnění dosahových úkolů (Duff et al., 2013).

Současná neurorehabilitace integruje do terapeutické praxe využití zpětné vazby. **Zpětná vazba** poskytuje probandovi informace o jeho činnosti, a tak mu dává možnost zlepšení a motivaci. Dle Maciejasz existují různé typy zpětných vazeb. Nejčastěji využívané jsou vizuální, taktilní, zvukové nebo elektrická stimulace (Maciejasz et al., 2014). Některé systémy používají vibrační stimulaci šlach k podpoře jejich kontrakce (Lam et al., 2008; Nathan, Johnson et Mc Guire 2008).

Taktilní feedback flexorových a extenzorových skupin, aplikovaný ve správném místě na kůži, vede k provedení přirozenějších pohybů a lepšímu klinickému výstupu (Maciejasz et al., 2014). Virtuální realita poskytuje nemocnému atraktivnější rozhraní, a tak zvyšuje jeho motivaci ke splnění úlohy.

Robotická rehabilitace v důkazech

Dle Taveggii byla dokázána větší efektivita kombinace robotické rehabilitace s konvenční rehabilitací v terapii bolesti, disability a spasticity horní končetiny po iktu ve srovnání s konvenční rehabilitací samotnou (Taveggia et al., 2016). Využití antigravitační podpory zvyšuje plynulost pohybů (Bartolo et al., 2014). Pokud je doplněno krátkou asistencí terapeuta, může navíc zlepšit pohybové schopnosti u těžké hemiparézy (Housman et al., 2009). Podle Irene Chan je roboticky asistovaná rehabilitace prospěšná pro pacienty v subakutním stadiu s lehkou až

těžkou poruchou, zvláště pro zlepšení vertikální kontroly – flexe ramene (Chan et al., 2016).

Exoskeletonový trénink má pozitivní vliv na zlepšení prostorových dosahových pohybů horní končetiny, jak prokázal pomocí jejich dynamické EMG analýzy Frisoli et al. (Frisoli, Procopio, Chisari, 2012).

Úkolově specifický trénink s exoskeletonovým zařízením může mnohem účinněji facilitovat zlepšení motorické funkce u pacientů v chronické fázi po iktu, než konvenční neurorehabilitace, jak prokázali Colomer et al. na základě výsledků testovacích škál hodnotících aktivitu a funkci horní končetiny po CMP – MAS (Modified Ashworth Scale), MFT (Manual Function Test), WFMT (Wolf Motor Function Test) (Colomer et al., 2013). V otázce validity **měření provedených pomocí robotických přístrojů** Otaka a kolegové zjistili, že měření odvozená z robotických zařízení mohou úspěšně odlišit paži paretickou od neparetické ve srovnání s již zavedenými klinickými škálami (Otaka et al., 2015).

Závěr

Sofistikované rehabilitační technologie využívající principů neuroplasticity a zpětné vazby, pracující s virtuálním prostředím, jsou vhodnou komplementární metodou ke konvenční fyzioterapii (Taveggia et al., 2016). Je prokázáno, že senzomotorická rehabilitace horní končetiny pomocí robotických zařízení zlepšuje funkční a motorický výstup v ramenním a loketním kloubu, nikoli však v zápěstí a na ruce. Trénink je prospěšný pro pacienty v akutním i chronickém stadiu (Bartolo et al., 2014; Colomer et al., 2013).

Robotická rehabilitace má obrovský potenciál v terapii poruch hybnosti díky snadnému zprovoznění a použitelnosti u širokého spektra motorických poruch. Další výhodou je vysoká spolehlivost robotického měření a možnost vysokodávkových tréninkových protokolů (Kwakkel, Kollen, Wagenaar, 2002). Pasivní zařízení mohou být využita v rehabilitaci méně závažných poruch.

LITERATURA

1. Bartolo M, De Nunzio AM, Sebastiano F, Spicciato F, Tortola P, Nilsson J, Pierelli F. Arm weight support training improves functional motor outcome and movement smoothness after stroke. *Funct Neurol* 2014; Mar 5: 1.
2. Buma F, Kwakkel G, Ramsey N. Understanding upper limb recovery after stroke. *Restorative neurology and neuroscience* 2013; 31(6): 707–722.
3. Colomer C, Baldoví A, Torromé S, Navarro MD, Moliner B, Ferri J, Noé E. Efficacy of Armeo Spring during the chronic phase of stroke. Study in mild to moderate cases of hemiparesis. *Neurologia* 2013; 28(5): 261–267.
4. Duff M, Chen Y, Cheng L, Liu SM, Blake P, Wolf SL, Rikalis T. Adaptive mixed rehabilitation improves quality of reaching movements more than traditional reaching therapy following stroke. *Neurorehab neural repair* 2013; 27(4): 306–315.
5. Feys H, Weerdt WD, Verbeke G, Steck GC, Capiau C, Kiekens C, Dejaeger E, Hoydonckx GV, Vermeersch G, Cras P. Early and repetitive stimulation of the arm can substantially improve the long-term outcome after stroke: a 5-year follow-up study of a randomized trial. *Stroke* 2004; 35(4): 924–929.
6. Frisoli A, Procopio C, Chisari C. Positive effects of robotic exoskeleton training of upper limb reaching movements after stroke. *J Neuroeng Rehabil* 2012; 9(1): 36.
7. Housman SJ, Scott KM, Reinkensmeyer DJ. A randomized controlled trial of gravity-supported, computer-enhanced arm exercise for individuals with severe hemiparesis. *Neurorehab Neural Repair* 2009; 23(5): 505–514.
8. Huang VS, Krakauer JW. Robotic neurorehabilitation: a computational motor learning perspective. *J Neuroeng Rehabil* 2009; 6: 1: 5.
9. Chan I, Fong HL, Chan KNK, Wang AQL, Cheng EKN, Chau PHY, Chow KKY, Cheung HKY. Effects of Arm Weight Support Training to promote recovery of upper limb function for subacute patients after stroke with different levels of arm impairments. *Observational study. BioMed Research International* 2016; 9.
10. Kwakkel G, Kollen BJ, Wagenaar RC. Long term effects of intensity of upper and lower limb training after stroke: a randomized trial. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry* 2002; 72(4): 473–479.
11. Laffont I, Bakhti K, Corioan F, van Dokkum L, Mottet D, Schweighofer N, Froger J. Innovative technologies applied to sensorimotor rehabilitation after stroke. *Ann Phys Rehabil Med* 2016; 57(8): 543–551.
12. Maciejasz P, Eschweiler J, Gerlach-Hahn K, Jansen-Troy A, Leonhardt S. A survey on robotic devices for upper limb rehabilitation. *J Neuroeng Rehabil* 2014; 11: 3.
13. Mayer M, Hlušík P. Ruka u hemiparetického pacienta. *Neurofyziologie, patofyziologie, rehabilitace. Rehabilitácia (Bratislava)*, 2004; 41(1): 9–13. ISSN: 0375–0922.
14. Otaka E, Otaka Y, Kasuga S, Nishimoto A, Yamazaki K, Kawakami M, Ushiba J, Liu M. Clinical usefulness and validity of robotic measures of reaching movement in hemiparetic stroke patients. *J Neuroeng Rehabil* 2015; 12(1): 66.
15. Patton J, Small SL, Rymer WZ. Functional restoration for the stroke survivor: informing the efforts of engineers. *Top Stroke Rehabil* 2008; 15(6): 521–541.
16. Platz T. Evidence-based arm rehabilitation – a systematic review of the literature. *Nervenarzt* 2003; 74(10): 841–849.
17. Richards L, Hanson C, Wellborn M, Sethi A. Driving motor recovery after stroke. *Top Stroke Rehabil* 2008; 15(5): 397–411.
18. Taveggia G, Borboni A, Salvi L, Mulé C, Fogliarini S, Villafañe JH, Casale R. Efficacy of robot-assisted rehabilitation for the functional recovery of the upper limb in post-stroke patients: a randomized controlled study RCT. *Eur J Phys Rehabil Med* 2016; 52(6): 767–773. Epub 2016 Jul 13.
19. Trojan S, Pokorný J. Teoretický a klinický význam neuroplasticity. *Bratisl Lek Listy* 1997; 12: 667–673.
20. Vařeka I, Bednář M, Vařeková R. Robotická rehabilitace chůze. *Cesk Slov Neurol Neurochir* 2016; 79/112(2): 168–172.