

Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta tělesné kultury

Možnosti robotické rehabilitace chůze u pacientů s míšní lézí

(Diplomová práce)

Bakalářská

Autor: Adam Kašpárek, obor fyzioterapie
Vedoucí práce: Mgr. Jarmila Štěpánová, Ph.D.
Olomouc 2021

Jméno a příjmení autora: Adam Kašpárek

Název bakalářské práce: Možnosti robotické rehabilitace chůze pacientů s míšní lézí

Pracoviště: Univerzita Palackého v Olomouci, Fakulta tělesné kultury, katedra fyzioterapie

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Jarmila Štěpánová, Ph.D.

Rok obhajoby: 2021

Abstrakt: Bakalářská práce se zabývá možnostmi a druhy robotické rehabilitace chůze u pacientů s míšní lézí. Úvodní část práce je věnována problematice míšních lézí, jejich druhům, klasifikaci a nejčastějším komplikacím. Dále jsou popsány hlavní aspekty vyšetření. Obecnou část práce uzavírá kapitola o spinálním programu, který v České republice zajišťuje pro pacienty možnost ucelené rehabilitační léčby. Speciální část pak popisuje samotnou robotickou rehabilitaci chůze. Popsány a rozděleny jsou různé skupiny robotických zařízení. Podrobný popis je následně věnován přístrojům Lokomat a ReWalk, u nichž je později také zhodnocen jejich přínos, a to i v porovnání s jinými metodami. Kromě pozitivního efektu na obnovu chůze je v práci pozornost věnována také ovlivnění sekundárních komplikací spojených s míšním poraněním. Popsány jsou také další metody, potenciálně zvyšující efekt terapie v kombinaci s robotickými systémy. Závěrečnou částí práce je kazuistika pacientky s inkompletní míšní lézí, u níž probíhala mimo jiné také terapie v robotickém zařízení Lokomat.

Klíčová slova: fyzioterapie, míšní léze, robotická rehabilitace, chůze

Souhlasím s půjčováním bakalářské práce v rámci knihovnických služeb.

Author's name: Adam Kašpárek

Title of the bachelor thesis: Possibilities of a robotic gait therapy in patients with spinal cord lesion

Department: Palacky University in Olomouc, Faculty of physical culture, Department of physical therapy

Supervisor: Mgr. Jarmila Štěpánová, Ph.D.

The year of presentation: 2021

Abstract: This Bachelor thesis researches the opportunities and kinds of robotic gait rehabilitation methods in patients with spinal cord lesion. The first part of the thesis deals with spinal cord lesion, its types, classification and main health complications. Furthermore, the main aspects of examination will be described. The theoretical part ends with a description of Spinal Program, which is a tool for effective comprehensive rehabilitation in the Czech Republic. The main part of the thesis describes robotic gait rehabilitation itself and briefly characterises and classifies the different groups of rehabilitation robotics devices. As two examples, devices Lokomat and ReWalk are analysed in more detail and their benefits are also evaluated when compared to other available methods. Moreover, the positive influence on secondary complications associated with spinal cord injury is discussed, and attention is also placed on other methods potentially increasing the therapeutical effect in combination with robot-assisted gait training. Finally, the thesis presents a case study of a patient with incomplete spinal cord injury who was undergoing, besides other treatment procedures, a therapy using the Lokomat robotic device.

Keywords: physiotherapy, spinal cord lesion, robotic rehabilitation, gait

I agree the thesis paper to be lent within the library service.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně pod vedením Mgr. Jarmily Štěpánové, Ph.D., uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržoval zásady vědecké etiky. V Olomouci dne 28. 4. 2021

Poděkování

Děkuji Mgr. Jarmile Štěpánové, Ph.D. za veškerou pomoc, vstřícnost a cenné rady po celou dobu psaní mé bakalářské práce. Poděkování patří také pacientce A. K. za dobrou spolupráci při vyšetření a terapii. Dále děkuji své rodině a spolužákům za neustálou podporu, bez níž by nejen psaní bakalářské práce bylo mnohem náročnější.

Obsah

1	Úvod	8
2	Cíle práce.....	10
3	Teoretická část.....	11
3.1	Problematika míšní léze	11
3.1.1	Etiologie a patofyziologie míšní léze.....	11
3.1.2	Dělení a klinický obraz.	12
3.1.2.1	Neurologická úroveň léze.	12
3.1.2.2	Rozsah míšní léze.....	13
3.1.3	Prognóza po míšním poranění.	14
3.1.4	Vyšetření.	15
3.1.5	Nejčastější komplikace míšního poranění.	17
3.1.6	Spinální program.....	23
3.2	Robotická rehabilitace chůze	26
3.2.1	Neurofyziologický podklad.	26
3.2.2	Základní rozdělení robotických systémů.	29
3.2.2.1	Stacionární zařízení.	29
3.2.2.2	Mobilní rehabilitační systémy.....	34
3.2.3	Metody využitelné v kombinaci s robotickými systémy.	37
3.2.3.1	Virtuální realita.	37
3.2.3.2	Funkční elektrická stimulace (FES).	39
3.2.3.3	Neinvazivní mozková stimulace.	40
3.2.4	Hlavní přínos robotické rehabilitace.....	42
3.2.5	Sekundární přínos robotické rehabilitace	48
3.2.6	Limity a možná rizika robotické rehabilitace	52

4	Kazuistika pacienta.....	54
4.1	Základní údaje.....	54
4.2	Anamnéza.....	54
4.3	Vyšetření	55
4.4	Rehabilitační plán.....	60
5	Diskuse	62
6	Závěr.....	67
7	Souhrn.....	68
8	Summary.....	70
9	Referenční seznam.....	72
10	Přílohy	83
	Seznam Příloh	83

1 Úvod

Míšní poranění v současné společnosti není z epidemiologického hlediska tak závažným tématem, jako je tomu u civilizačních chorob dnešní doby v podobě kardiovaskulárních onemocnění, cerebrovaskulárních chorob nebo diabetes melitus druhého typu. I přesto je ale nutné věnovat lidem s míšní lézí velkou pozornost, a to z důvodu, že stav po poranění míchy přináší širokou škálu komplikací, z nichž některé, například motorické funkce, mohou být nevratné. Pro onu komplexitu míšní léze s nutností specifického přístupu byl vytvořen takzvaný spinální program, který soustřeďuje pacienty na specializovaná pracoviště počínaje spinálními jednotkami nemocnic v Praze, Brně, Ostravě a Liberci, a konče rovněž spinálním pacientům přizpůsobenými rehabilitačními pracovišti v Hrabyni, Kladrubech a Hamzově odborné léčbě. V průběhu všech specifických časových období je postiženým osobám zprostředkovávána na těchto pracovištích multidisciplinární péče, kterou zajišťují lékaři, fyzioterapeuté, ergoterapeuté, psychologové i sociální pracovníci.

Léčba, která je pacientovi poskytována by pak kromě objektivních indikací určujících cíle zdravotnických odborníků, měla být stavěna také na subjektivních cílech a přáních pacienta. To platí především v oblastech fyzioterapie a ergoterapie, kde je aktivní přístup pacienta zásadní a pokud je terapie vedena právě podle cílů stanovených samotným pacientem, je dlouhodobý pozitivní efekt rehabilitace mnohem výraznější. Ve vztahu k míšním lézím tedy můžeme říci, že časté přání a cíle pacientů jsou směřovány k oblasti mobility, přesněji samostatné chůze. Zvláště pacienti s inkompletní lézí, kde pod její úroveň zůstala zachována volní motorická aktivita, ve svém stavu potenciál k obnově chůze často nacházejí. Otázka, jak dostat pacienta zpátky na nohy přirozeně rezonuje medicínskou společností odjakživa a je aktuální i dnes, kdy k tomuto záměru bylo vynalezeno již mnoho efektivních způsobů. Obecně platí, že konvenční přístupy manuálního nácviku chůze nebo modernějšího nácviku na běžícím páce doplněného mechanismem pro odlehčení pacienta jsou při vysoké frekvenci velice náročné především pro terapeuta, který takovouto formou nedokáže plně pomoci značnému množství pacientů. A právě to je jedním z důvodů, proč byla světu představena robotická forma pro rehabilitaci chůze. Tou se v současné době zabývá několik světových výrobců, kteří již od přelomu tisíciletí vyvíjejí sofistikované robotické systémy, které i na mnoha pracovištích v České republice pomáhají dosahovat pacientům jejich cílů.

Obtížnější cestu k samostatné chůzi nastupují pacienti s kompletním přerušením míchy, a tedy také úplnou ztrátou pohybu pod úrovní léze. I dnes společnost uvažuje a takovém jedinci jako o člověku nutně upoutaném na invalidní vozík. To ale v blízké budoucnosti nemusí být nadále pravidlem, jelikož na trh přicházejí kromě robustních terapeutických přístrojů vybavených běžícím pásem také kompaktní robotizované exoskelety, které by měly sloužit právě ke každodennímu používání a nahrazení invalidních vozíků.

2 Cíle práce

Cílem této práce je především představení hlavních zástupců v oblasti robotické rehabilitace a jejich zasazení do kontextu komplexní péče o pacienta. A to jak ve smyslu rehabilitace chůze, tak i jako prostředu k ovlivnění dalších sekundárních zdravotních komplikací. Dále práce nabízí srovnání efektů různých terapeutických přístupů s efektem robotické rehabilitace na rehabilitaci chůze u pacientů s inkompletním poraněním. Osobám s kompletní lézí je pak věnováno srovnání užitečnosti používání exoskeltu oproti invalidnímu vozíku.

3 Teoretická část

3.1 Problematika míšní léze

Mícha je důležitou strukturou centrální nervové soustavy, která zajišťuje spojení mezi tělem a vyššími etážemi CNS. Kromě toho, že propojuje, tak se také sama podílí na řízení například na úrovni jednoduchých reflexů. Mícha probíhá v páteřním kanálu tvořeném foramina intervertebralia obratlů od foramen occipitale magnum až po druhý bederní obratel. Chráněna pak je třemi míšními vaky dura mater, arachnoidea a pia mater. Délka míchy a páteře se s dospíváním a růstem jedince proporcionálně mění, jelikož kostěný aparát páteře zaznamenává znatelně větší růst než samotná mícha. Z toho důvodu v dospělosti všech 31 míšních segmentů neodpovídá lokalizací obratlům téhož pořadí, ale jejich umístění je posunuto kraniálním směrem, což popisuje Chipaultovo pravidlo (Kříž, 2019).

3.1.1 Etiologie a patofyziologie míšní léze.

Většina případů poškození míchy vzniká na traumatickém podkladě při pádech nebo vážných dopravních nehodách, případně některých sportovních aktivitách, kde někdy jistá míra rizika poranění páteře existuje. Z netraumatických příčin se může jednat relativně často o cévní onemocnění, kam řadíme míšní ischemie a hematomyelie. Dále lze také zmínit zánětlivá onemocnění v podobě myelitidy a spondylodiscitidy nebo nádorová onemocnění na páteři, která rozlišujeme podle etiologie na intramedulární a extramedulární. Vážný neurologický deficit se může objevit také v některých případech při degeneraci páteře, typický je případ spinální stenózy, a to hlavně v úseku krční a bederní páteře. Obecně platí, že netraumatické míšní léze jsou charakteristické spíše pro starší část populace, zato traumatický způsob vzniku nacházíme u lidí mladších (Chen, Tang, Vogel & DeVivo, 2013; Kříž, 2019).

Z hlediska patofyziologie lze dělit časový průběh míšního poranění na několik fází. Tou první je primární poranění, kterou je myšleno mechanické poškození, které také představuje základ pro rozvoj dalších fází. Způsoby tohoto primárního poranění jsou pak podobné těm, jaké známe u poranění mozku. Jedná se nejčastěji o míšní kontuzi s přetrvávající kompresí, která vzniká při tříštivých zlomeninách nebo luxacích obratlů. O něco méně závažná je kontuze s přechodnou kompresí, zapříčiněná hyperextenčním mechanismem, velice často v krční oblasti. Jiným typem je míšní distakce, tedy protažení v podélné ose, které působí různorodý neurologický obraz. Jako poslední lze

zmínit míšní laceraci, vznikající při přímém poškození míchy například ostrými předměty. Tento způsob je také nejčastější příčinou hemisekce míšní (Kříž, 2019).

Na podkladě primárního poškození se objevuje rozvoj sekundárních procesů trvajících od několika týdnů až po měsíce. Hlavním projevem této fáze je prolongovaná ischemie a nekrotizace tkáně v důsledku poruch mikrocirkulace v postižené oblasti. Objevují se také zánětlivé procesy cílené k odstranění nekrotizované tkáně, přičemž ale může docházet částečně také k dalšímu autoimunitnímu poškození zdravé tkáně v okolí léze (Náhlovský, 2006; Kříž, 2019).

V krátkém časovém období po primárním poškození přichází také odpověď nazývaná jako míšní šok. Jedná se o stav, který je charakterizován ztrátou motoriky, citlivosti i autonomních funkcí pod místem kompletní i inkompletní léze. Navíc dochází v této časné fázi ke ztrátě reflexů a hypotonii svalů. Děje se tak v důsledku hyperpolarizace a snížení excitability neuronů pod místem léze kvůli přerušení descendní facilitace. Tento stav zpravidla odeznívá v rozmezí několika dnů až týdnů. Stadium míšního šoku je ukončeno návratem výbavnosti reflexů. U nekompletních lézí je toto období spojeno také s návratem motorických funkcí. Synaptické změny probíhající pod místem léze v pozdním stadiu mají za následek fázi hyperreflexie. V tomto období může díky těmto změnám týkajících se také míšních motoneuronů docházet k dalšímu zlepšení motorických funkcí. V případě malého nebo žádného počtu zachovaných descendních drah ale tyto změny přispívají k rozvoji spasticity (Háková & Kříž, 2015; Kříž, 2019).

3.1.2 Dělení a klinický obraz.

3.1.2.1 Neurologická úroveň léze.

Jedním se dvou hlavních předpokladů, které určují pacientův klinický obraz, je právě segmentální úroveň míšní léze. Při postižení v oblasti krční páteře mezi segmenty C1 a C4 hovoříme o takzvané pentaplegii, kdy zejména při kompletní lézi dochází k zásadní komplikaci v podobě porušení brániční inervace. Tito pacienti jsou v důsledku neschopnosti spontánní ventilace odkázáni na ventilaci umělou (Kříž, 2019).

Při lézi pod čtvrtým krčním segmentem nastává tetraplegický klinický obraz. Pacient je již schopen samostatného dýchání, avšak stále dochází k částečné nebo úplné ztrátě citlivosti a volního pohybu na horních i dolních končetinách a také na trupu. Klinický obraz pacientů z tetraplegií se i v závislosti na vykonávání aktivit denního života významně liší. Zatímco osoby s postižením ve střední části krční páteře jsou častěji odkázány na pomoc okolí, lidé s lézí spodních krčních segmentů již mohou mnoho věcí

sami vykonávat díky částečně zachovalé možnosti pohybu na horních končetinách (Kříž, 2019). V souvislosti s robotickou rehabilitací je u tetraplegie důležité zmínit, že u těchto pacientů nebývá indokováno používání robotizovaných exoskeletů, které vyžadují určitou míru aktivní stabilizace horní části trupu, a především oporu o berle. Těmto pacientům ale může být zprostředkována terapie na běžícím pásu v odlehčení nebo s využitím robotizovaných ortéz, která je pro pacienta s takovou úrovní léze posturálně akceptovatelná.

Léze v úrovni hrudních, bederních nebo i křížových segmentů se projevuje jako paraplegie, kdy je u pacienta zachováno čítí i možnost pohybu na horních končetinách, avšak různou měrou je omezeno čítí a pohyb trupu a dolních končetin. K paraplegii se vztahuje také poranění míchy na úrovni prvního a druhého bederního obratle, které se neurologicky projevuje jako syndrom míšního konu. Motorická schopnost na dolních končetinách je zde omezená už jen výpadkem krátkých flexorů prstců.

Hlavní komplikací ale představuje paréza svalů dna pánevního, která se pojí se vznikem neurogenního močového měchýře. Porucha čítí je pak často rozsáhlá kvůli zasažení okolních nervových kořenů (McDonald & Sadowsky, 2002; Kříž, 2019). Z hlediska robotické rehabilitace je skupina paraplegiků nejčastěji indikovanou. Především u pacientů s inkompletní lézí je snaha o obnovení schopnosti chůze tomu uzpůsobených zařízeních, například Lokomatu. U pacientů s lézí kompletní se v posledních letech objevuje trend kompenzace oslabené chůze robotizovanými exoskelety.

3.1.2.2 Rozsah míšní léze.

Nejtěžší klinický obraz se objevuje u kompletní transverzální léze. Pacienti s tímto postižením ztrácejí veškerou schopnost pohybu i kvalit čítí pod úrovní léze. Typickými jsou také poruchy autonomních funkcí, které budou ještě zmíněny dále.

Zachování jakékoliv kvality čítí nebo schopnosti volního pohybu pod úrovní léze značí poškození inkompletní. Podle oblasti porušení míchy na jejím transverzálním průřezu dělíme tyto léze na jednotlivé klinické syndromy. Při uzávěru přední míšní arterie, často následkem traumatu, dochází k ischemii a následnému poškození ventrálních dvou třetin míchy, což se projeví především ztrátou motorických funkcí, ale také poruchou čítí termického a bolesti. Naopak při poškození dorzální poloviny míchy, syndromu zadních míšních provazců, sledujeme poruchy propiocepce, vibračního

a diskriminačního čítí. Klinicky se ztráta těchto kvalit čítí projevuje typicky ataxií (Kříž, 2019; Ehler & Štětkařová, 2017).

Méně častým typem poranění je takzvaný Brown-Séquardův syndrom, tedy syndrom hemisekce míšní. Manifestuje se anestezií v úrovni léze. Pod úrovní poškozeného segmentu se léze ipsilaterálně projevuje ztrátou propiocepce a motoriky, kontralaterálně pak disociovanou poruchou termického a algického čítí. Posledním typem nekompletní léze je syndrom centrální míšní šedi, který je typickým pro poranění oblasti krční páteře. K rozvoji klinického obrazu dochází v důsledku zúžení páteřního kanálu často hyperextenčním mechanismem, kdy nemusí ani dojít k poškození skeletu páteře. Výsledkem bývá motorický deficit především na horních končetinách a také senzitivní a autonomní poruchy (Mumenthaler, 2008; Kříž, 2019).

3.1.3 Prognóza po míšním poranění.

Prognosticky velice významným faktorem je rozsah léze. Kompletní transversální přerušení prakticky vylučuje návrat motorických i senzitivních funkcí. Často ale nelze v první chvíli úplnou lézi stanovit, a to tehdy, kdy došlo k míšní kompresi, která může předznamenávat různý průběh stavu. Pro další vývoj hraje kritickou roli spíše závažnost sekundárního poranění působeného hematomem, otokem a následnou ischemií (Kříž, 2019).

Vývoj klinického stavu k lepšímu je očekávaný s odezníváním míšního šoku. Pokud se ale do dvou až tří měsíců po zranění neobjeví žádná motorická aktivita, nelze již další zlepšení předpokládat. Pokud se ale léze pacienta ukáže v této fázi jako inkompletní, nastává do půl až jednoho roku období, kdy je funkční a neurologický stav nejvíce otevřený změnám a tím i ovlivnitelný terapií (Kříž, 2019). Tyto změny probíhají díky plastické odpovědi na subkortikální i motorické kortikální úrovni, kde byly zjištěny u pacientů s inkompletní lézí přechodnému útlumu inhibičních mechanismů (Belci, Catley, Husain, Frankel & Davey, 2004).

Kromě pozitivních změn motoriky a sensorických funkcí může vlivem neuroplasticity na spinální úrovni docházet také k negativním důsledkům v podobě spasticity a neuropatické bolesti (Kříž & Hyšperská, 2014). Další aspekty prognózy stavu po míšním poranění budou dále popsány i ve spojitosti s robotickou rehabilitací.

3.1.4 Vyšetření.

Stejně jako při jakémkoliv jiném vyšetření je důležitým základem relevantní anamnéza pacienta. U spinálních pacientů je soubor relevantních otázek poměrně rozsáhlý, jelikož důsledky zranění často zasahují do mnoha oblastí pacientova života. V průběhu času se hlavní body anamnézy samozřejmě liší.

V první řadě bychom si měli vytvořit povědomí o tom, jak se pacient se vzniklou indispozicí vypořádává v denním životě, což je často primárně ovlivněno výškou léze. Zásadní je také povědomí o dalších zdravotních komplikacích, které se mají u spinálních pacientů vyšší riziko rozvoje. Důležitá otázka tak bude směřovat například na stav kardiovaskulárního systému, ale i dalších tělesných, a hlavně psychických komplikací. Další body anamnézy by se měly týkat také užívané medikace, například chronické warfarinizace, dále specifické problémy, jako jsou neuropatické bolesti nebo poruchy spánku. V neposlední řadě bod nynějšího onemocnění musí nést detailní popis vzniku léze, okolností a následný průběh jak neurologických projevů, tak celkové péče ve zdravotnickém zařízení (Kříž, 2019).

Důležitými body jsou také vyšetření neurologické a využití testů, které se k neurologické problematice vážou. Zde je základem klasifikace míšní léze podle rozsahu a úrovně léze. Děje se tak podle standardů vypracovaných Americkou asociací spinálního poranění (ASIA) (2000). Vyšetřující má za úkol vypracovat protokol pacienta se zhodnocením senzitivních a motorických funkcí podle jednotlivých segmentů, kdy ukazatelem je aktivita klíčových svalů a citlivost v dermatomech lehkým dotykem a píchnutím špendlíkem pro dané míšní segmenty. Součástí testování je také anorektální vyšetření pro volní kontrakci a hluboký anální tlak, kdy i tyto body vyšetření hrají roli při stanovení rozsahu léze. Ta je podle senzitivních a motorických nálezů pod úrovní léze hodnocena na škále AIS od kompletní A po normální stav E. Samotná úroveň léze je stanovena posledním segmentem s neporušenou citlivostí a se svalovou silou tři nebo více.

Z neurologického hlediska jsou dalšími podstatnými částmi vyšetření zhodnocení napínavých reflexů pro odlišení centrální a periferní obrny a také zjištění odeznívání míšního šoku. Za tímto účelem provádíme i testy pro spastické jevy na akrálních částech končetin (Kříž, 2019; ASIA, 2000).

V kontextu této diplomové práce je důležité zmínit v rámci vyšetřování rovněž chůzové testy. Díky tomuto testování jsme v dlouhodobém časovém horizontu schopni sledovat vývoj motorické kapacity sledovaných pacientů. Pro komplexní zhodnocení

podstatných aspektů chůze pacienta používáme nejčastěji baterii tří testů, které jsou v klinické praxi využitelné nejen u pacientů s míšní lézí (Kříž, 2019).

Prvním je test *Timed Up and Go*, jehož hlavním cílem je zhodnocení rovnováhy, ale také svalové síly dolních končetin při provedení testu, který je díky změnám poloh posturálně náročný. Úkolem pacienta je zde v co nejkratším časovém úseku vstát ze židle, obejít tři metry vzdálenou značku, dojít zpět k židli a opět se usadit (Wannapakhe, Arayawichanon, Saengsuwan & Amatachaya, 2014; Poncumhak, Saengsuwan, Kamruecha & Amatachaya, 2013). Změnu v klinickém obraze lze podle práce Lam, Noonan & Eng (2008) pozorovat při provedení testu v čase stejném nebo vyšším než 10,8 s.

Dalším využívaným testem je 10metrový test chůze (10 MWT), který pro svou vysokou intenzitu a krátký čas trvání hodnotí především rychlost chůze, která jde ruku v ruce se svalovou silou. Test se zaměřuje také na kvalitu pohybového stereotypu u testovaných pacientů (Jackson et al. 2008). Van Hedel, Dietz & Curt (2007) popisují také alternativní provedení, kdy pacient během testu urazí vzdálenost 14 m, přičemž měřených je prostředních 10 m. Dochází tak k eliminaci vlivů úvodní akcelerace a následného brždění na konci. Tento test bývá hojně využíván při hodnocení efektu robotické rehabilitace na rychlost chůze, nebo také k hodnocení, zda je pro pacienta vhodné nahradit invalidní vozík například robotickým exoskeletem. V takovém případě je doporučená rychlost chůze v exoskeletu 2,1 km/h, aby byla náhrada vozíku plnohodnotná (Silfhout et al. 2019).

Trojici testů uzavírá šestiminutový test chůze (6 MWT). Účelem testu je zhodnocení funkční kapacity chůze v submaximálním zatížení. U spinálních pacientů je vhodným ukazatelem reakcí kardiovaskulárního a respiračního systému (Kříž, Hlinková, Lidáková & Hyšperská, 2019). Ve studiích zabývajících se robotickou rehabilitací chůze bývá test často využíván ke sledování dlouhodobého vlivu terapie na vzdálenost, kterou je pacient schopen najednou urazit. I tento test, podobně jako 10 MWT, může sloužit k posouzení, zda je rychlost chůze pacienta dostatečná pro její využívání místo vozíku při denních aktivitách. Předpokladem je zde minimální uražená vzdálenost 216 m (Zörner, Blanckenhorn, Dietz & Curt, 2010). Lam et al. (2008) pak jako minimální rozdíl pro zachycení změny klinického stavu pacienta uvádí 45,8 m.

Kombinací těchto testů dostáváme velice spolehlivou metodu pro posouzení stavu chůze pacienta a opakovaným prováděním pak velmi dobrý způsob pro utvoření představy o vývoji jeho stavu a odpovědi na prováděnou terapii. Přehled o funkčních

schopnostech dolních končetin může být ještě doplněn o testování *Lower Extremity Motor Score*, které je velice často využíváno v zahraničních studiích zabývajících se robotickou rehabilitací chůze. Ve své podstatě se jedná o vyšetření svalové síly klíčových svalů dolních končetin podle ASIA, kdy je možno získat při vyšetření obou končetin maximálního výsledku 50 bodů sečtením hodnot svalové síly jednotlivých svalů. Ukázalo se, že toto testování koreluje s výsledky popsanych testů chůze (Shin, Yoo, Jung & Goo, 2010).

3.1.5 Nejčastější komplikace míšního poranění.

Kardiovaskulární systém

Byly popsány dvě hlavní příčiny změn v oběhovém systému para a tetraplegiků. První z nich je disfunkce autonomního nervového systému, konkrétně descendentních sympatických vláken, což se projevuje nejčastěji klidovou a ortostatickou hypotenzí. Klinicky se snížení krevního tlaku manifestuje únavou, malátností, závratí, při náhlé změně se mohou objevit také parestezie horních končetin, návaly horka nebo bolesti šije. Vhodným způsobem ovlivňování klinických symptomů hypotenze je intenzivní vertikalizace pacienta, například s pomocí vertikalizačního stolu. V časně fázi po poranění tomuto účelu může posloužit alespoň sed se svěřenými dolními končetinami (Kříž, 2019).

Závažným důsledkem souvisejícím s poruchou oběhového systému bývá autonomní dysreflexie. Definovaná je jako syndrom masivní nevyvážené reflexní sympatické odpovědi na určitý podnět. Tato odpověď se může projevovat například hypertenzí a nepřiměřeným prokrvením supraspinálních struktur, především mozečku, což působí prudkou bolest hlavy a doprovázen bývá tento stav i nepříjemnými pocity nauzey a úzkosti (Kříž & Rejchrt, 2014).

Z patofyziologického hlediska je dysreflexie způsobena ztrátou supraspinální kontroly a morfologickými změnami sympatických neuronů v míše, které se tímto často stávají citlivější na některé podněty a můžou vyvolat přehnané reflexní reakce. Děje se tak u pacientů, kteří poranění utrpěli nad úrovní šestého hrudního segmentu, jelikož právě pod tímto segmentem začíná sympatická inervace splachnické oblasti. Z nejčastějších příčin, které dysreflexii vyvolávají, lze jmenovat distenze močového měchýře nebo rekta. Na vině mohou být ale také nejrůznější záněty, případně traumata muskuloskeletálního systému. U žen se může tento stav rozvinout dokonce během těhotenství nebo porodu.

Při náhlém vzniku dysreflexie je nejdůležitější odhalení a odstranění příčiny. Ke zlepšení stavu může dopomoci také vertikalizace pacienta (Kříž, 2019).

Další skutečností, která nepříznivě ovlivňuje stav kardiovaskulárního systému, je snížená úroveň pohybové aktivity. Tomu se snaží již v rámci komplexní péče v rehabilitačních ústavech předcházet kromě individuální fyzioterapie například fyzioterapeutem vedenými sportovními aktivitami v podobě míčových her jako je florbal nebo basketbal. Tyto aktivity pro paraplegiky konkrétně rehabilitační ústav v Hrabyni zprostředkovává několikrát týdně. V rámci následné péče je v tomto ohledu také důležité, aby pacient neustrnul v pasivním životním stylu, a naopak si našel sportovní aktivitu, která jej bude naplňovat.

Z kardiovaskulárních komplikací nelze opomenout také riziko tromboembolické nemoci. To pacientovi hrozí nejvíce v prvních třech týdnech po zranění. Ani později však není plně zažehnáno. Z důvodu vysokého rizika hluboké žilní trombózy bývá v časně fázi pacientům pravidelně podáván nízkomolekulární heparin. Preventivní efekt má také mechanická komprese, které lze docílit například pomocí kompresních punčoch. Prevencí flebotrombózy předcházíme také závažnější plicní embolii, která může být jejím důsledkem, a může v mnoha případech končit až smrtí pacienta. Prevenci embolizace můžeme, vedle zabránění vzniku trombů, doplnit také o kavální filtr zaváděný do dolní duté žíly. Tento invazivní postup by však měl být aplikován pouze při již existující trombóze, a tedy zvýšenému riziku, anebo při kontraindikované antikoagulační léčbě (Kříž, 2019).

Muskuloskeletální systém

Další zásadní změny, na které je z hlediska fyzioterapie dobré myslet, probíhají na úrovni svalů a skeletu. V časně fázi po vzniku léze dochází vlivem ztráty inervace svalů k jejich změnám na několika úrovních. Jedná se zde především o postupnou atrofii z důsledku nevyužívání svalů, kterou v pozdější fázi doprovází také změny složení svalové hmoty. Podíl svalových vláken bývá v průběhu prvních měsíců snížen často až o 50 %. Tato hmota je pak nahrazena především intramuskulární tukovou tkání, která dále působí jako rizikový faktor pro vznik diabetu druhého typu a kardiovaskulárních chorob. Na pozoru je třeba se mít také u pacientů s inkompletní lézí, u kterých tato přestavba probíhá do jisté míry také, a mohla by při pozdním zahájení aktivní terapie ovlivnit obnovu motorických schopností (Kříž, 2019).

V podobném časovém horizontu, v jakém začínají probíhat změny svalové tkáně, se rozvíjí u pacientů také osteoporóza. Ta vzniká na podkladě snížené mechanické zátěže na skelet, což má za následek snížení kostní novotvorby. Osteoporotické změny jsou ještě více umocněny sníženou mineralizací v důsledku přerušené inervace kostní tkáně sympatickými vlákny. Pozdním důsledkem vzniklé osteoporózy mohou být zlomeniny kostí již při zvlášť nízkém silovém zatížení, a to především v oblasti pod úrovní míšní léze, typicky femuru nebo tibie. Z toho důvodu je osteoporóza také jedním z velkých otazníků a rizikových faktorů při indikaci robotické rehabilitace, čemuž bude věnováno více ve speciální části této práce (Kříž & Hyšperská, 2009; Kříž, 2019).

Respirační systém

Respirační komplikace se týkají nejvíce pacientů s poraněním krční části míchy. Pro tyto pacienty představují v časně fázi po vzniku léze zásadní ohrožení zdravotního stavu, a to především rozvojem pneumonie, plicního kolapsu nebo respiračního selhání (Hagen, 2015). Vásquez, Sedes, Fariña, Marqués & Velasco (2013) zmiňují tři základní faktory podílející se na rozvoji respiračních komplikací. Jsou to podle nich oslabení a zvýšená unavitelnost respiračních svalů, způsobující omezenou ventilační kapacitu, neefektivní expektorace sekretu a autonomní dysfunkce, která v dýchacích cestách působí bronchospasmus, zvýšenou sekreci a plicní edém. Obecně platí, že respirační komplikace po míšním poranění jsou dobře známy a popsány, avšak jejich prevence a zvládání není jednoduché a vyžaduje intenzivní multidisciplinární přístup. Kříž (2019) uvádí pro zamezení respiračních komplikací vhodnou medikaci ve formě bronchodilatancií a mukolytik, v časně fázi při respirační insuficienci umělou plicní ventilaci a v neposlední řadě také respirační fyzioterapii s technikami pro posílení dýchacích svalů, usnadnění expektorace a také reedukaci dechového vzoru. Vásquez et al. (2013) z preventivních technik ještě dodávají například respirační elektrostimulaci, která se využívá ve formě *pacemakeru* pro bránici při její insuficienci.

Metabolismus vody a elektrolytů

Méně často popisovaným problémem spinálních pacientů je narušená rovnováha příjmu a výdeje vody a iontů. Tyto dysbalance vznikají nejvíce na podkladě vzniklé nerovnováhy autonomního nervového systému se ztrátou sympatické inervace. Zatěžující komplikací, především v souvislosti s neurogenním močovým měchýřem, může být například polyurie způsobená poruchou sekrece antidiuretického hormonu, v tomto pojetí

známá také jako diabetes insipidus. Vlivem endokrinní nesouhry může u pacientů docházet k denní diuréze okolo pěti litrů, v extrémním případě až 12 litrů. Důsledkem polyurie při nedostatečném doplňování tekutin může být rychlý rozvoj dehydratace jedince. Kromě doplňování tekutin bývá polyurie řešená také podáváním peptidu desmopresinu (Kříž, 2019).

Komplikace, která může snadno vést ke vzniku dalších nežádoucích stavů, je iontová nerovnováha v tělesném systému. Již v prvních dnech po zranění dochází k membránovým změnám z hlediska propustnosti pro jednotlivé ionty, a to v důsledku působení proinflamatorních faktorů a poruše autonomního nervového systému. Nejzávažnější iontovou dysbalancí bývá popisována hyponatrémie, která souvisí také s již zmíněnou polyurií. Klinicky se kromě zvýšené diurézy manifestuje v závažnější formě nauzeou, křečemi, bolestí hlavy a v extrémním případě až kómatem. Častou formou terapie je zde suplementace NaCl (Fan et al., 2018; Kříž, 2019).

Gastrointestinální systém

Z pohledu gastrointestinálního ústrojí vnímáme u osob časně i dlouhodobě široké spektrum obtíží lokalizovaných po celé délce trávicí trubice. Typickou komplikací pacientů s úrovní léze v krční oblasti bývá porucha polykání. Příčinou dysfagie nebývá většinou samotná míšňí léze, ale kombinace působení nutné intervence v podobě operačního výkonu na krční páteři prostřednictvím předního přístupu, a také zavádění tracheostomické kanyly a následné umělé ventilace (Kříž, 2019).

Velikým tématem nejen v časně fázi je neurogení dysfunkce střeva. Jde o zpomalení střevní pasáže především v oblasti tlustého střeva. Tento stav je zapříčiněn kombinací faktorů porušení autonomní inervace a snížení tělesné aktivity. Pacient si tak může stěžovat na obstipaci, inkontinenci a nekoordinovanou defekaci. Péče o neurogení střevo by se měla zakládat na pravidelné evakuaci každé dva až tři dny, a také na režimových opatřeních zahrnujících fyzickou aktivitu, medikaci a vhodné stravovací návyky. Nedostatečná péče o neurogení střevo může vést k závažnějším stavům v podobě hemoroidů, rektálního krvácení nebo dokonce autonomní dysreflexie (Hagen, 2015; Kříž, 2019).

Jiné komplikace v gastrointestinálním ústrojí mohou být například gastrefozageální reflux nebo vředová choroba žaludku a duodena. Tyto patologie se objevují i v běžné populaci. U pacientů s míšňí lézí těmito komplikacím však předcházejí i jiné rizikové faktory, jakými jsou poruchy motility jícnu a dlouhé setrvávání v supinační poloze.

Přidává se také malfunkce autonomního nervového systému při vyřazení aktivity sympatiku s následnou převahou nervus vagus, který zvyšuje sekreci žláz a vytváří tak podmínky příznivé pro rozvoj peptidických vředů i gastroezofageálního refluxu (Kříž, 2019).

V souvislosti s trávicím ústrojím lze mluvit také o komplikaci systémové, tedy obezitě. Zvláště při nevhodných stravovacích návycích, kdy převažuje energetický příjem již tak omezený výdej pacienta, přichází brzy riziko rozvoje nadváhy a obezity. To je navíc podpořeno změnou metabolismu základních živin při postupné ztrátě svalové hmoty, probíhající také v důsledku poranění (Kříž & Hyšperská, 2009).

Urogenitální systém

Dysfunkce dolních močových cest je po gastrointestinálních obtížích dalším závažným problémem, vyžadujícím bdělost zdravotníků v akutní fázi, jelikož tehdy hrozí vysoké riziko uroinfekce, urolitiázy a v krajním případě až renální alterace. Charakter obtíží u pacientů s poraněním míchy je dán především typem neurogenního měchýře, jehož projevy se různí podle úrovně léze (Kříž, 2019).

Typ neurogenního měchýře, který u osob s míšní lézí nenalzáme, ale je dobré jej uvést pro ucelení přehledu, je měchýř při lézi suprapontinní. Tento takzvaný hyperreflektonický měchýř vzniká především u cévní mozkové příhody a mozkových traumat, při přerušení spojení mezi korovým a pontinním mikčným centrem. Jak již napovídá název, pacienti s tímto typem jsou vlivem zvýšené aktivity močového měchýře nuceni k časté mikci. Koordinace sfinkterů a detrusorů zde bývá zachována (Hagen, 2015; Kříž, 2019).

Typy, které se již u míšních poranění vyskytují, jsou dány místem postižení nad nebo pod sakrálním mikčným centrem nacházejícím se v úrovni segmentů S2–S4. Při suprasakrální lézi dochází k přerušení supraspinálního vlivu na sakrální mikční centrum, což má za následek dyssynergii sfinktrů a detrusorů, kdy se obě tyto antagonistické skupiny projevují zvýšenou aktivitou a vytvářejí funkční obstrukci dolních močových cest. Dochází tak ke zvyšování intravesikálního tlaku a retence moči, což může dále vést k poškození horních močových cest nebo uroinfekci.

Odlišně se manifestuje léze subsakrální vznikající pod úrovní prvního bederního obratle. Z hlediska aktivity detrusoru dochází k opačnému projevu, tedy hypoaktivitě. Navíc se stav manifestuje inkompetencí uretry a asenzitivitou měchýře, což dohromady i se zmiěnou hypoaktivitou detrusoru, působí retenci moči a jejím únikem při přeplnění

měchýře. Právě inkontinence je hlavní obtíží pacientů, jelikož k úniku může docházet i při nízkém tlaku v oblasti močového měchýře, je tak nutné dbát na pravidelný režim vyprazdňování. V péči o neurogenní měchýř se setkáváme s expresivními technikami zvyšujícími nitrobřišní tlak nebo také s katetrizací permanentního nebo intermitentního typu, přičemž v časné fázi po poranění je první volbou katetr permanentní, a později se může pacient sám naučit techniku autokatetrizace (Kříž, 2019).

Nervový systém

Pomineme-li již výše popsanou ztrátu volního pohybu a různých kvalit cití pod úrovní míšní léze, můžeme pozornost zaměřit na další komplikace nervového systému, kterými jsou spasticita a neuropatická bolest. Spasticita se u pacientů s míšní lézí rozvíjí v různé míře a předznamenává konec stadia míšního šoku. Spasticita je různými autory definována a interpretována mnohými způsoby. V zásadě se jedná o formu svalového hypertonu, která se manifestuje nadměrnou excitabilitou napínavých reflexů, prokazatelnou při pasivním protažení postiženého svalu (Jech, 2015). Společně se spasticitou se objevují také další pozitivní příznaky vznikající na podkladě postižení horního motoneuronu, zejména celkový hypertonus, hyperreflexie, klonus a svalové spasmy. Kombinace všech příznaků zásadním způsobem limituje fungování pacienta ve smyslu omezeného rozsahu pohybu, svalové inkoordinace a zpomalení pohybu. Obzvláště omezující jsou tyto změny pro pacienty na horních končetinách, kdy jim mohou výrazně bránit při vykonávání jemných pohybů. Pozitivním důsledkem vzniklého hyperonu může být stabilnější postura v některých polohách, případně také při transferech a dalších aktivitách (Kříž, 2019).

Druhou zmíněnou komplikací je neuropatická bolest. Jedná se o negativní důsledek plastických změn nervové tkáně na a pod úrovní léze, kde dochází vlivem těchto změn k periferní i centrální senzitivizaci a hyperexcitabilitě neuronů. Tyto pochody vedou ke vzniku ektopických impulzů, především na nociceptivních vláknech. Projevy této bolesti popisuje okolo 50 % pacientů, což není dobrá zpráva především z důvodu, že neuropatické bolesti bývají problémem chronickým a významným způsobem se promítají především na psychickém stavu pacientů. Z pohledu zdravotníka je důležité mít dostatečné informace o charakteru bolesti jednotlivých pacientů. Ta se totiž může výrazně lišit intenzitou, lokalizací nebo tím, jestli je spouštěna určitým podnětem nebo se objevuje už v klidu, v horším případě i v noci. Pro dobré pochopení charakteru těchto bolestí může sloužit škála neuropatické bolesti (NPS), která se právě jednotlivými aspekty zabývá.

Ovlivňování neuropatických bolestí u pacientů s míšním poraněním nebývá vždy dostatečně efektivní. Metodou první volby bývají relativně účinná antiepileptika a antidepressiva, u silných bolestí pak opioidy. Nefarmakologicky bývají někdy využívány metody fyzikální terapie, masáže, akupunktury nebo i hypnózy (Kříž, 2019). Některé studie popisují také efekt robotické rehabilitace.

3.1.6 Spinální program.

V souvislosti s tématem této bakalářské práce je vhodné představit také širší kontext rehabilitace pacientů s poraněním míchy. Předně se jedná o specifickou skupinu, pro kterou byl v průběhu času vytvořen velice komplexní dlouhodobý spinální program, se zapojením mnoha oborů. Fáze v tomto rehabilitačním programu na sebe plynule navazují, prolínají se a doplňují.

V akutním nemocničním období při hospitalizaci na jednotce spondylochirurgického pracoviště, které trvá přibližně dva týdny, je hlavním prostředkem rehabilitační ošetrovatelství a včas zahájená lůžková fyzioterapie, které jsou orientovány primárně na prevenci zdravotních komplikací, vznikajících ať už důsledkem samotného poranění nebo dlouhodobé imobilizace pacienta. Řeč je zde především o důsledném polohování jako prevenci dekubitů a společně s pasivními pohyby také prevenci vzniku kontraktur. Zde je důležité pravidelné střídání poloh vleže a také postupná vertikalizace v co nejkratším možném čase od vzniku léze. Zásadní je také nepřetržitá péče o močení a vyprazdňování pacienta. Akutní intervence se týká i respiračního systému, kde správným polohováním, technikami respirační fyzioterapie, přístroji a medikací, bráníme především rozvoji bronchopneumonie. Pod vedením fyzioterapeuta nebo ergoterapeuta se pacient na lůžku učí základní pohybové akce a manipulaci s nepohyblivou částí těla. Cvičení soběstačnosti dále pokračuje specifickými aktivitami v oblasti hygieny, stravování a oblékání. Pomoc fyzioterapeuta je zde využitelná také v případě, kdy pacient s lézí v úrovni krční páteře trpí dysfagií (Kříž, 2019).

Péče o pacienta popsaná v akutním stádiu je podobná péči subakutní, která probíhá na specializovaných spinálních jednotkách až do 12. týdne od poranění. V tomto období se řeší případné vzniklé komplikace a probíhá nácvik sebeobsluhy, například i v podobě učení se alternativnímu způsobu samostatného vyprazdňování. Velice důležitou roli zastává fyzioterapie a ergoterapie, jelikož právě v tomto čase od poranění má nervový systém nejvyšší kapacitu k pozitivním změnám, adaptaci, a tím pádem k budování základu pro co nejfunkčnější stav pacienta v budoucnosti. Cílem je tedy intenzivní

zvyšování motorických funkcí všech pacientů. V případě pacientů s inkompletní lézí je pak samozřejmě prioritou snaha o obnovu motoriky části těla pod úrovní léze. Toho lze efektivně dosáhnout nácvikem konkrétních pohybových akcí, které neuroplasticitu výrazně podporují. Platí ale, že nejlepší cestou je využití většího množství přístupů, utvářejících komplexní celek, kdy využitelnými metodami jsou Vojtova reflexní lokomoce, dynamická neuromuskulární stabilizace, koncept Bobathových, propioceptivní neuromuskulární facilitace nebo také přístrojové metody, kam spadá právě robotická rehabilitace. Naopak, při úplné ztrátě některých motorických funkcí, je na místě snaha o jejich částečnou kompenzaci posílením nepostižených svalových skupin a nácvik nových pohybových strategií. Fyzioterapeut se v této fázi také snaží ovlivňovat spasticitu, vznikající po odeznění míšního šoku. Společným údělem fyzioterapeuta a ergoterapeuta v této fázi, je výběr vhodného vozíku a dalších pomůcek pro každodenní používání. Veškerou práci fyzioterapeuta se ergoterapeut v průběhu subakutní fáze snaží přenést do ryze funkční sféry, v podobě nácviku přesunů, mobility, aktivit denního života a u tetraplegiků také v podobě intenzivní práce na funkci ruky. Veškerý rehabilitační proces je následně z nemocniční spinální jednotky po dvou až třech měsících přenesen do specializovaných rehabilitačních ústavů, kde po dobu dalších čtyř až pěti měsíců probíhá ucelená rehabilitační péče (Kříž & Faltýnková, 2013; Kříž, 2019).

Nedílnou součástí spinálního programu je rovněž psychologická a sociální péče, které probíhají již od samého začátku. Psychologická pomoc je poskytována každému indikovanému pacientovi v nemocnici, rehabilitačním ústavu a je možné v ní pokračovat i v pozdější fázi po opuštění zdravotnického zařízení. Psychoterapeut pacientovi i jeho blízkým pomáhá adaptovat se na nově vzniklou situaci. Intervence psychologa ke každému jedinci je velice individuální, jelikož každý je schopen snášet tíhu situace odlišně. Specifický přístup je nutný i v péči sociální, která se orientuje na mnohé sociální aspekty jedince, které prošly vlivem míšního traumatu razantními změnami. Sociální pracovníci tak podávají veškeré informace o invalidním důchodu, příspěvcích na péči a zvláštní pomůcky a také o nadacích, nabízejících pomoc při zvláště vysokém finančním zatížení. Dále se obor sociální péče zabývá poskytováním domácí zdravotní péče a dalších služeb, při výrazném omezení samostatného fungování pacienta, dokonce zajištěním osobní asistence nebo pečovatelské služby. Obvyklou komplikací bývá bariérovost pacientova bydlení. Tento problém alespoň přechodně řeší některé agentury nabídkou dočasného bydlení po omezenou dobu, často jednoho roku až dvou let, během které má pacient čas vyřešit otázku vlastního bezbariérového bydlení. V Česku jsou tradičními

poskytovateli sociální péče spinálním pacientům Česká asociace paraplegiků – CZEPA, Centrum Paraple nebo ParaCENTRUM Fenix (Kříž, 2019; Kříž & Faltýnková, 2013).

Ukončením ústavní rehabilitační péče by však rehabilitační proces pacienta neměl skončit. Vhodné je pokračování v následné rehabilitaci poskytované ambulantně, v domácím prostředí nebo v podobě rekondičních pobytů na specializovaných jednotkách rehabilitačních ústavů. Takovou následnou péči stejně jako u ostatní populace indikuje lékař. Konkrétně může rehabilitaci doporučit lékař ošetřující nebo jiný odborný lékař. Cílem následné fyzioterapie v chronické fázi postižení je především úprava dysbalancí vznikajících přetěžováním pohybového aparátu pacienta v dlouhodobém časovém rozmezí. Neméně důležité body terapie jsou analgetické procedury, zlepšení celkové kondice, mobility, soběstačnosti a naplnění specifických cílů, vytyčených pacientem samotným. To může být například trénink chůze u pacientů s inkompletní lézí, kteří často vidinu samostatného pohybu bez vozíku následují s velikou motivací a práce v tomto ohledu může přesahovat časový rámec subakutní terapie v rehabilitačním ústavu (Kříž & Faltýnková, 2013; Kříž, 2019).

V dlouhodobém horizontu je pro pacienty užitečné osvojit si jednu nebo klidně více volnočasových aktivit. Především fyzické zájmové aktivity pomáhají udržovat dobrou kondici jedince a jsou prevencí dalších komplikací typu kardiovaskulárních onemocnění, diabetu a osteoporózy. Zároveň se ukazuje, že fyzická aktivita je jedním z nejlepších způsobů podpory psychického zdraví a pomáhá předcházet chronickému stresu nebo depresím. I přes nesporné benefity pohybových aktivit je skupina inaktivních vozíčkářů početná, za čímž mohou stát nejrůznější bariéry spojené se zdravotním stavem, motivací nebo socioekonomickými aspekty. S provozováním sportovní činnosti se na druhou stranu samozřejmě pojí také určité komplikace a rizika v podobě poranění nebo přetěžování pohybového systému (Kříž, 2019; Miller & Herbert, 2016). Fyzioterapeut, který má pacienta v návazné péči, by tak měl pomýšlet na obě strany mince. Měl by pacienta podporovat a inspirovat ve výběru a provozování pohybové aktivity, ale zároveň ho instruovat, ve smyslu správného provádění a péče o pohybový aparát.

3.2 Robotická rehabilitace chůze

Pod pojmem robotická rehabilitace si lze představit poměrně mladý a progresivní obor, v rámci komplexní rehabilitace pacienta. Jako počátek robotické rehabilitace vnímáme první pokusy o terapii pomocí běžícího pásu v kombinaci se závěsným systémem pro odlehčení pacienta, ke kterým docházelo na začátku 90. let 20. století (Vařeka, Bednář & Vařeková, 2016). Během následujících let se prostředí v robotické rehabilitaci velmi rychle měnilo. Hlavním cílem bylo a stále je usnadnění práce terapeuta při práci s pacientem a samozřejmě také zefektivnění samotné terapie.

3.2.1 Neurofyziologický podklad.

Terapie u pacientů s neurologickou lézí, jakou představuje míšní poranění, vyžaduje na prvním místě využití postupů založených na neurofyziologickém podkladě. Robotická rehabilitace využívá hned několik mechanismů, které se zde uplatňují.

Jako hlavní prostředek lze označit plasticitu CNS, což je proces v podobě funkčních i strukturálních změn, konkrétně na synapsích. Tyto změny probíhají fyziologicky, nejvíce během dozrávání mozku jedince, určitou míru plasticity ale projevuje CNS i při poškození s cílem přizpůsobit svou funkci vniklým patologickým změnám (Kříž, 2010; Turner, Ramos-Murguialday, Birbaumer, Hoffmann & Luft, 2013). Neuroplasticitu lze dále vnímat také jako proces, který zodpovídá za samovolné zlepšování stavu postiženého jedince. Děje se tak nejintenzivněji v prvních třech měsících po zranění a cílem rehabilitačního postupu by tak mělo být využití tohoto období jako efektivního katalyzátoru terapie. Nicméně nejen čas, ale i efekt trvání této odpovědi CNS je omezený, což ukazují výsledky pacientů, u nichž díky plasticitě došlo k regeneraci jen ze 70–80 %. Tato skutečnost může také ovlivňovat finální proces rehabilitace, kdy je spíše nepravděpodobné, že by se motorické funkce pacienta povedlo obnovit v původním rozsahu (Gassert & Dietz, 2018).

Markery neuroplastické odpovědi na poranění CNS mohou být podle recentní studie změny hladiny beta oscilace, zjištěné pomocí EEG. Autoři uvádějí výsledky 39 pacientů s inkompletní míšní lézí, kteří podstoupili robotem asistovaný trénink chůze, v kombinaci s transkraniální stimulací stejnosměrným proudem. Během třiceti měření zaznamenali autoři korelaci mezi úspěšností rehabilitace chůze a snížením oscilací v beta pásmu. Podle jejich slov, by tato skutečnost mohla složit nejen k ověřování úspěšnosti

terapie, ale také k lepší individualizaci terapie (Simis, Uygur-Kucukseymen, Pacheco-Barrios, Battistella & Fregni, 2020).

Místem s neuroplasticitou často spojovaným, je motorický kortex koncového mozku. Ukázalo se, že změny v této oblasti hrají zásadní roli při obnově motorických funkcí, například u cévní mozkové příhody (Coleman et al., 2017). Změny motorické kůry jsou asociovány také s reedukací chůze po poranění míchy. Více se o této problematice rozepisuje Turner et al. (2013). Podle jejich slov není zatím evidence o plasticitě motorické kůry dostačující, uvádějí ale soubor studií, sledující vývoj stavu pacientů po míšním traumatu nebo cévní mozkové příhodě, kteří trénovali v robotickém systému. Za použití transkraniální mozkové stimulace a funkční magnetické rezonance dospěli autoři ke zjištění, že tento trénink u pacientů působil vyšší míru aktivace mozečku a oblastí motorické kůry, reprezentující pohyb dolních končetin. Předpokladem pro synaptické změny v těchto oblastech, je vysoký počet opakování daného pohybu, kterého lze při intenzivní robotické rehabilitaci efektivně dosáhnout.

O plasticitě pojednává také práce, kterou publikoval Dobkin (2000). Plasticitu neuronových sítí spojuje dohromady s takzvanými *central pattern generators (CPG)*, neboli centrální generátory vzorů, které jsou v podobě neurálních obvodů uloženy především v lumbální části míchy a jsou spojeny s kontrolou rytmické a stereotypní aktivity. Podle Dobkina mohou být tyto neuronové shluky místem pro synaptické změny ve chvíli, kdy je po míšním poranění pod místem léze utlumena descendentní aktivita CNS, a převahu získává segmentální aferentní aktivita. Vhodným zdrojem velkého množství takových podnětů pro plasticitu se jeví terapie s využitím *task-oriented practise*, tedy specifické aktivity, jakou je například chůze v odlehčení na běžícím páse, případně modernější robotické systémy.

Dobkinem zmíněnou aferentní aktivitou podněcující plasticitu CPG, jsou především propioceptivní vjemy, jdoucí z chodidla a kloubů dolních končetin. Na to se zaměřují také Dietz, Müller & Colombo (2002). Jak již bylo řečeno, v akutní tříměsíční fázi rehabilitace se uplatňuje mechanismus automatické fyziologické aktivace svalů dolních končetin. Autoři studie srovnávali EMG pacientů s paraplegií po spinálním poranění a zdravých jedinců, u kterých byl proveden test chůze na běžícím páse v 80% odlehčení. Měření prokázalo, že stejné vzorce v aktivaci se na grafu objevují u obou skupin, byť byly u skupiny paraplegiků výrazně sníženy. Podle autorů za touto aktivací u skupiny pacientů stojí aference z kloubů dolních končetin zatížených ve stojné fázi, kdy dochází k facilitaci pro následnou fázi švihovou. Autoři následně ještě dodávají, že své

neurofyziologické opodstatnění má lokomoční rehabilitace i u pacientů ve stádiu chronickém. Zde se lokomoční strategie více opírá o koordinaci mezi končetinami a využívá spastického tonu svalstva jako nástroje.

Dobkin později poukazuje také na důležitou facilitaci z protažení měkkých tkání, o které panuje všeobecné povědomí, a která se také využívá v mnohých terapeutických metodách. Právě roli svalů více rozvádějí (Dietz et al., 2002). Extenze kyčle na konci stojné fáze má zásadní vliv na aktivaci svalů zodpovědných za švihovou fázi kroku. Informace z proprioceptorů je vedena k interneuronům, které dále ovlivňují aktivitu flexorů kyčle a kolenního kloubu. I díky možnosti dosáhnout kvalitní extenze v kyčli pomocí řízených ortéz moderních robotických systémů, je tato funkce dále podporována. Kam et al. (2013) ještě dodávají, že důraz v terapii chůze by měl být kladen také na souhyb horních končetin. Tuto skutečnost dokazují měřeními, kdy u skupiny pacientů provádějících během terapie chůze aktivní souhyb horními končetinami, byla zjištěna vyšší aktivita m. tibialis anterior, m. gastrocnemius, m. soleus, m. vastus lateralis i m. biceps femoris. Aktivního pohybu horních končetin lze u některých robotických zařízení snadno dosáhnout. Ale například při používání mobilních exoskeletů není možné těchto pohybů dosáhnout, z důvodu nutnosti opory o berle (Gassert & Dietz, 2018).

Bylo rovněž prokázáno, že vlivem intenzivního dlouhodobého tréninku chůze na běžícím pásu s odlehčením, dochází ke zvýšené aktivaci a funkci kortikospinální dráhy u pacientů v akutním stádiu po poranění míchy, a dokonce také u pacientů ve stádiu chronickém. Tyto změny se u desíti testovaných subjektů projevily na aktivitě m. tibialis anterior, m. vastus lateralis a jejich antagonistů m. soleus a hamstringů. V praxi se na vyšší aktivaci kortikospinální dráhy lze zaměřit pomalou volní kontrakcí svalů v průběhu terapie na běžícím pásu o nízké rychlosti (Thomas & Gorassini, 2005). Podobný výsledek prokázala také novější studie (Zabukovec et al., 2013), kde se zvýšená excitabilita projevila také v souvislosti s aktivitou m. biceps femoris. Pro měření zde byl použitý přístroj Lokomat, využívající robotické ortézy dolních končetin a běžící pás. U testovaných subjektů byla během měření zjištěna zvýšená aktivita kortikospinální dráhy, a to i po ukončení terapie v přístroji.

Na závěr je důležité zmínit, že i přes všechny regenerační mechanismy a děje, které napomáhají při návratu funkce, je jedním ze základních předpokladů pro obnovu motoriky množství zachovaných nervových vláken v míše, které jsou po poranění schopny vést descendentní a ascendentní signály k vyšším etážím CNS. Dobkin (2000) ve své práci shrnuje výsledky několika studií, podle kterých je pro obnovu chůze nutné

zachování 3,5–10 % vláken bílé hmoty míšní. Při dostatečném potenciálu pro nápravu motorických funkcí je následně pro podporu neuroplasticity nejdůležitější dostatečně velká intenzita pohybové terapie, založené na učení specifického pohybu, takzvaného *task-oriented practise* (Gassert & Dietz, 2018).

3.2.2 Základní rozdělení robotických systémů.

Za krátkou historii robotické rehabilitace se původní přístroje, především díky velkým technologickým možnostem dnešní doby, rychle vyvíjely a zdokonalovaly. V současnosti nabízí na trhu různé zařízení hned několik firem, zároveň se společností aktivním vývojem podařilo rychle rozvinout celou oblast robotické rehabilitace do různých směrů. Mluvit tak můžeme o přístrojích stacionárních s komplikovanými ortézami nebo naopak jen s jednoduchým závěsem, a dále také o nejrůznějších exoskeletech, které samy přinášejí různé způsoby využití.

3.2.2.1 Stacionární zařízení.

Tyto přístroje jsou snad nejčastější formou robotizovaných pomůcek v rehabilitačních zařízeních. Vycházejí z původního způsobu chůze v odlehčení na běžícím páse, ale s rozdílem, že je zde díky robotice usnadněna práce terapeuta. Nejčastěji se skládají z běžícího pásu, závěsu pro odlehčení těla a robotických ortéz, přednastavených pro vykonání správného stereotypu chůze (Vítečková, Jiřina & Krupička, 2011).

Lokomat (Hocoma AG)

Pravděpodobně nejpopulárnější robotický systém švýcarské firmy Hocoma byl na trh uveden v roce 2001. Pro rozvoj robotické rehabilitace byl tento moment zásadní a spustil vlnu měření, studií a představoval základ pro vývoj dalších robotických zařízení. I samotný systém Lokomat na základě zkoumání a referencí prošel mnohými změnami, a tak byl v roce 2005 nejprve představen LokomatPro uzpůsobený pediatrickým pacientům a v roce 2011 následně nejnovější verzi LokomatPro, která podle slov výrobce disponuje kompaktnějším designem a rozšířeným uživatelským rozhraním (Hocoma AG, 2019).

Jedná se o zařízení, které v kombinaci s běžícím pásem využívá závěsného systému spojeného s bilaterálně řízenými robotickými ortézami. Tyto ortézy jsou softwarem řízeny k vedení pohybu pacientových nohou v sagitální rovině. Aby se tak mohlo opravdu fyziologicky dít, byly ortézy sestaveny ze segmentů s nastavitelnou délkou, které jsou

spojeny v jednotlivé kyčelní a kolenní klouby. Nastavení v kloubu hlezenním je zajištěno páskou, která zabraňuje nežádoucímu pohybu do plantární flexe. Další pásky se suchým zipem se pak využívají i k upevnění ortézy na bérce, stehně a pánvi. Oporu v dolní části trupu pacienta zajišťuje pánevní segment s nastavitelnou šířkou od 29 cm do 51 cm, který navíc spojuje obě ortézy se závěsným systémem pro odlehčení. Tento závěs využívá také mnoho dalších přístrojů s cílem umožnit chůzi i pacientům, kteří se vzpřímeně kvůli zdravotnímu stavu pohybovat nemůžou. U Lokomatu nalezneme dva typy podpůrných systémů – *Lokolift* nebo modernější *Levi*, které nabízejí nastavitelnou míru odlehčení s maximem 60 kg, u modernějšího až 80 kg, přičemž nosnost obou systémů je maximálně 135 kg. Navíc je možné vybrat mezi dynamickým nebo statickým režimem odlehčení. Dynamický režim nabízí výhodu vertikálního vektoru pohybu při chůzi, kdy ve fázi odrazu na základě fyziologického vzoru dojde k dopomoci při pohybu těla směrem vzhůru (Riener, Lünenburger, Maier, Colombo & Dietz, 2010; Hocoma AG, Lokomat® User Script). V novějších verzích LokomatPro byl představen také systém FreeD, který umožňuje pacientovi rotaci pánve a laterální přenos na stojnou nohu v krokové fázi. Robotem asistovaná chůze tak díky této funkci dostává ještě realističtějších rozměrů (Hocoma AG, Lokomat®Pro Brochure).

Podle vlastních slov výrobců (Hocoma AG, Lokomat® User Script) je při terapii v Lokomatu důležitou skutečností, že v terapii dochází k reprodukci fyziologického stereotypu chůze. K jeho dosažení využívá tři základních předpokladů. Prvním je přednastavený program, který při spuštění sám produkuje fyziologický cyklus chůze. Není ale možné aplikovat tento přednastavený program na každého pacienta, proto jsou důležité manuální úpravy tohoto programu. Software umožňuje ovlivnit rozsah pohybu v kyčelních i kolenních kloubech, což závisí především na rychlosti pacientovy chůze. Rychlejší chůze je spojena také s větší délkou kroku a větším rozsahem pohybu. Ovládat můžeme také to, jestli se bude větší část pohybu odehrávat ve flexi nebo extenzi. Tento parametr nazývají výrobci jako *Offset* a v krokové fázi se projevuje především v procentuálním rozdělení stojné a švihové fáze, které se při změnách rychlosti chůze také fyziologicky mění. Třetím předpokladem je přizpůsobení ortéz přesně mírám pacienta, které manuálně vykoná terapeut. Špatné nastavení délek by jinak mohlo nepříznivě ovlivnit pohyb nebo dokonce ohrozit pacienta.

Lokomat dále umožňuje nastavení dalších, pro terapii podstatných, parametrů. Jedním z nich je například rychlost, kterou je možno měnit v rozsahu 0,5–3,2 km/h. Režim pomalé chůze většinou volíme v prvních terapiích s novým pacientem, který si na

pohyb stále zvyká. Využití pomalého pohybu ale také volíme u pacientů, se kterými chceme nacvičovat vědomou postupnou kontrakci svalových skupin ve správném stereotypu nebo u pacientů trpících spasticitou na začátku terapie před tím, než se svalový tonus sníží a adaptuje na novou pohybovou zkušenost. Vyšší rychlost naopak zařadíme u pokročilých pacientů, u kterých chceme dosáhnout co největšího počtu opakování krokového cyklu, automatizace pohybu a také zvýšení zátěže na kardiovaskulární systém. Pro správný průběh terapie je zásadní sjednotit rychlost pohybu ortéz s rychlostí pohybu běžícího pásu. I tento parametr nastavuje manuálně terapeut, přičemž pracuje také se změnou v možném rozsahu pohybu a *offsetu* kloubů na ortézách (Hocoma AG, Lokomat® User Script).

Podle individuality pacienta můžeme, podobně jako rychlost, také nastavit sílu, jakou Lokomat pacientovi pomáhá v pohybu po předem definované trajektorii. Výrobci tento parametr označují jako *Guidance Force* a umožňují její nastavení od 100% asistence po nulovou dopomoc. Snižování míry dopomoci umožňuje pacientovi větší volnost pohybu. Pokud je svalová síla pacienta vyšší než síla, kterou působí přístroj, je možné, aby se odchýlil od stanovené pohybové trajektorie. V takovém případě disponuje Lokomat bezpečnostním limitem, který hlídá velikost takové odchylky, a při jeho překročení terapii zastaví. Tato funkce může pro pacienta představovat zpětnovazebný mechanismus, který mu umožňuje vnímat důležitost kontroly vlastního pohybu. Tomu ještě více dopomáhá zprostředkování pacientova snažení na obrazovce, kterou může během chůze sledovat. V reálném čase se zde zobrazují data o procentuálním zastoupení pacientovy aktivity, a to zvláště pro obě končetiny, díky čemuž může kontrolovat také stranovou symetrii své aktivity (Hocoma AG, Lokomat® User Script; Hocoma AG, Lokomat®Pro Brochure). Jednu z novějších verzí Lokomatu můžeme vidět na obrázku 1.

Lokomatu podobný způsob konstrukce přístrojů využívají také další společnosti. Například LokoHelp nebo ReoAmbulator. Oba přístroje využívají stejně jako Lokomat běžící pás, ortézy i systém pro odlehčení těla. Ani za jedním z těchto dvou však nestojí tolik výsledků studií (Díaz et al., 2011).



Obrázek 1. LokomatPro Švýcarské firmy Hocoma (Hocoma AG, 2016)

Další stacionární zařízení

Druhou skupinou stacionárních přístrojů jsou takzvaná *end-effector* nebo také *foot-plate-based gait trainer* zařízení. Ta místo pásů využívají dvě separované, počítačem řízené plošiny, na kterých jsou umístěny nohy pacienta, které mají s těmito plochami nepřetržitý kontakt během terapie. Zařízení, na rozdíl od předchozí skupiny, také nevyužívají ortézy dolních končetin. Společným znakem zůstává závěs zajišťující odlehčení. Jejich výhodou je například možnost simulace různých druhů pohybů – do schodů, ze schodů, ale také situací jako zakopnutí nebo uklouznutí. Toto bylo konkrétně umožněno u přístroje HapticWalker, a to s myšlenkou, že právě pohyb po schodech nebo nenadálé situace v terénu, jsou často obtížně uskutečnitelné. Toto robustní zařízení je vyobrazeno na Obrázku 2. Dalšími prověřenými zařízeními jsou pak také Gait Trainer GTI, nebo GaitMaster5 (Schmidt, Werner, Bernhardt, Hesse & Krüger, 2007).

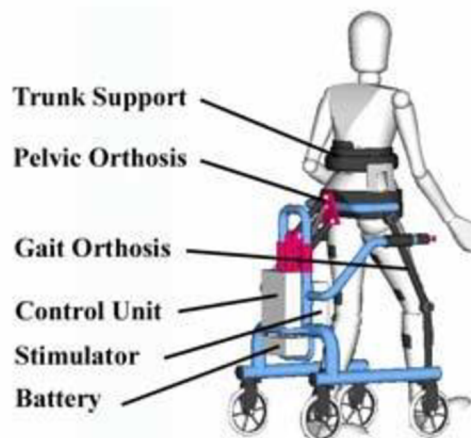


Obrázek 2. Systém HapticWalker založený na principu end-effector (Schmidt et al., 2007)

V zásadě odlišnou skupinou přístrojů jsou například zařízení MotionMaker nebo Lambda, které využívají sice podobných ortéz, jakými disponuje skupina první, avšak pacient při terapii zpravidla nezaujímá vertikální polohu. Cvičení v těchto přístrojích probíhá často v polosedě. Cílem cvičení v těchto zařízeních je posílení svalových skupin dolních končetin a jejich aktivaci ve správném pohybovém stereotypu. Důležité je také zvýšení celkové mobility segmentů dolní části těla (Díaz et al., 2011). Nevýhodou těchto přístrojů může být poloha těla, která neodpovídá opravdové postuře, kterou k lokomoci využíváme.

3.2.2.2 Mobilní rehabilitační systémy.

Pohyblivá zařízení v robotické rehabilitaci mohou být použita v praxi k různým účelům. Do této skupiny spadají především kompaktní exoskelety, jejichž zástupce ReWalk bude dále podrobněji popsán. Kromě exoskeletů zde patří také přístroje, které umožňují pacientovi pohyb po prostoru díky podpůrnému mechanismu tvořenému pojízdnou konstrukcí disponující postrojem, v němž je bezpečně zajištěn trup a pánev pacienta. Synchronizovaný pohyb pacienta a zařízení je zajištěn čidly pro zrychlení nebo zatížení, které jsou často instalovány v pánevní části postroje. Takovýto jednoduchý systém používá například zařízení KineAssist. Ze složitějších přístrojů můžeme zmínit například WalkTrainer. Ten nevyužívá jen postroj, ale také ortézy dolních končetin, které aktivně asistují při pohybu pacienta. Obě zmíněné zařízení jsou kvůli svým velkým rozměrům využitelné spíše jen pro terapii, nikoliv k běžnému pohybu pacienta (Díaz et al., 2011). Pro lepší představu o těchto robotických zařízeních může sloužit přiložené schéma přístroje WalkTrainer na obrázku 3.



Obrázek 3. Schéma robotického systému WalkTrainer (Schmitt et al., 2004)

Robotický exoskelet ReWalk (ReWalk Robotics)

Existují také systémy, které díky své kompaktnosti mohou pacienti využít jako kompenzaci pro svůj pohyb v interiéru i exteriéru na denní bázi. K takovým se řadí ReWalk vytvořený stejnojmennou firmou. První klinické zkoušky tohoto přístroje proběhly v USA v roce 2009. V roce 2011 a 2014 byl ReWalk postupně schválen k nemocničnímu a následně i k domácímu použití (Murtagh J., 2015). Pro lepší pochopení celé skupiny robotických exoskeletů bude ReWalk, podobně jako Lokomat, popsán podrobněji, včetně specifikace technických parametrů.

Za indikaci pro používání tohoto zařízení se nejčastěji považuje spinální léze v úrovni segmentů Th7 až L5, a to v případě, že by pacient dále exoskelet využíval i v domácím prostředí. U pacientů s lézí v úrovni Th4 až Th6 je možnost využití pouze v terapii. Pacient může získat přístroj na předpis lékaře při splnění základních podmínek, kterými jsou dostatečná síla horních končetin pro oporu o berle, fyziologická kostní hustota, odpovídající celkový zdravotní stav, výška mezi 160 a 190 cm a váha menší než 100 kg. ReWalk může být běžně využíván v nemocničním nebo ambulantním prostředí pod vedením školeného personálu, nebo také v prostředí domácím, případně v exteriéru, ale opět pouze ve společnosti poučené osoby, která dohlíží na bezpečný pohyb pacienta v exoskeletu (FDA, 2013). Podle ReWalk Robotics (2019) je optimálním společníkem při používání exoskeletu osoba, která bydlí s uživatelem a je schopna potřebné fyzické asistence při případných náhle vzniklých komplikacích. Před začátkem používání zařízení ReWalk v domácnosti doporučuje výrobce terénní návštěvu odborníka, který zhodnotí veškeré podmínky prostředí a dohlédne na první domácí použití exoskeletu.

Po technické stránce je exoskelet složený ze dvou ortéz dolních končetin, které jsou členěny do segmentů přesně kopírujících pohyb v kloubu hlezenní, kolenním i kyčelním. Pevné části ortéz jsou ke končetinám přichyceny pomocí polstrovaných popruhů se suchým zipem. Nohy pacienta jsou podpírány podložkami vystupujícími z bércových segmentů přístroje, které navíc dopomáhají ke kontrole a jistotě v hlezenním kloubu. V jeden celek ortézy dolních končetin spojuje pánevní opora, která stabilizuje celou spodní část trupu. Kyčelní a kolenní klouby exoskeletu využívají energii z lithiové baterie, která dokáže na jedno nabití přístroj pohánět po dobu dvou hodin. Míra a způsob facilitace z těchto robotizovaných kloubů je ovladatelná bezdrátovým ovladačem připnutým k zápěstí. Pohyb pacienta je dále regulován pomocí senzorů umístěných v pánevní oblasti zaznamenávajících změnu polohy těžiště. Neopomenutelnou součástí exoskeletu je také počítač se softwarem, který shromažďuje data ze všech částí exoskeletu a je zodpovědný za jeho řízení. Pacient si tento počítač i s bateriemi nese v batohu na zádech (Murtagh J., 2015).

Pro takto sofistikovaný prostředek, který využívají osoby se zdravotním postižením, je nutné stanovit přísná bezpečnostní opatření. Software zařízení disponuje důležitou kontrolní funkcí, která hlídá nastavení všech komponent exoskeletu a při jakékoliv chybě nedovolí zahájení pohybu pacienta. Systém také hlídá kapacitu baterie a nízkou hladinu energie hlásí během posledních 15 minut uživateli prostřednictvím vibrací. Při případné poruše hlavní řídicí jednotky nebo ztrátě komunikace jednotlivých

částí je možné ovládat pozici segmentů tlačítka ve stehenní části ortézy, což výrobce označuje jako *bypass mode*. Pokud by došlo k úplnému selhání celého systému, exoskelet se sám pomalu uvede do pozice sedu, což výrobci nazývají jako *graceful collapse*. Rovněž je důležité dbát na velikost rozsahu pohybu v kloubech, kdy je výrobcem přednastavený pohyb kyčelního kloubu ze 104° flexe do 34° extenze a v kolenní ze 112° flexe do 2° extenze (FDA, 2013).

Zařízení jsou rozdělena na rehabilitační a personální modely. Funkce jsou identické, terapeutický přístroj je však doplněn o propracovanější uživatelské rozhraní, které umožňuje nastavování parametrů na základě odborného školení. V tabulce 1 jsou rozepsány jednotlivé parametry nastavení se základním nastavením od výrobce. Terapeut při zlepšování výkonů pacienta běžně zkracuje dobu švihové fáze pro zrychlení chůze, zvyšuje flexi v kyčli pro prodloužení kroku a také snižuje intenzitu, kterou se přístroj v chůzi aktivně podílí (ReWalk Robotics, 2020).

Tabulka 1.

Technické parametry exoskeletu ReWalk (ReWalk Robotics, 2020)

Doba trvání švihové fáze kroku	1100 ms
Pauza mezi kroky	400 ms
Míra dopomoci při chůzi	závislá na váze, svalové síle, spasticitě
Míra dopomoci při přechodu ze sedu do stoje	závislá na váze
Náklon při přechodu ze stoje do sedu	6°
Náklon při chůzi	7–8°
Aktivní flexe kyčelního kloubu exoskeletu	18–20°
Aktivní flexe kolenního kloubu exoskeletu	38°

Terapeutická jednotka v systému ReWalk se doporučuje opakovat dvakrát až třikrát do týdne, nejlépe ve dvouhodinových sezeních. V našich podmínkách ale bývá většinou v rehabilitačních ústavech možným maximem hodina s jedním pacientem na jedno sezení. Při prvním nácviku v zařízení se doporučuje začít nejprve přenášením rovnováhy do stran, předozadně a diagonálně. Při stabilním stoji je možné začít také s nátkroky. Pro samostatné využívání pod dohledem asistenta mimo rehabilitační kliniku by měl pacient ovládat základní manévry, jakými jsou manuální nastavení kloubů, vstávání ze židle a sedání, stání, chůze, otáčení a zastavení se. Doporučuje se také umět překonávat překážky, jakou je například práh dveří nebo i chůze do schodů (FDA, 2013; ReWalk Robotics, 2020).

3.2.3 Metody využitelné v kombinaci s robotickými systémy.

3.2.3.1 Virtuální realita.

O využití virtuální reality v neurorehabilitaci se začalo více hovořit v posledních pěti letech. Společně s gamifikací (zapojením herních prostředků) tvoří moderní směr, který podle nejnovějších studií má veliký potenciál pro zlepšování poškozených funkcí pacientova nervového systému se zaměřením především na rovnováhu a reedukaci chůze. Vyšly také studie zabývající se efektem na neuropatickou bolest nebo aerobní funkci organismu (Araújo, Neiva, Monteiro & Magalhaes, 2019).

Samotná virtuální realita může být definována jako simulace reálného prostředí generovaná počítačem. Děje se tak díky 3D obrazu, který se promítá před očima v uzavřeném prostoru speciálních brýlí. V takovéto simulaci má člověk možnost interagovat s generovaným prostředím pomocí ovladačů propojených se zmíněnými brýlemi a také díky senzorům v brýlích, které snímají pohyby hlavy a umožňují tak orientaci v simulovaném prostředí. Díky takovéto technologii se lze pohybovat v prostředí, ve kterém by byl pohyb za určitých podmínek rizikovým, a využít tuto skutečnost ke vlastnímu prospěchu, například právě při rehabilitaci. K tomuto účelu virtuální realitu využíváme nejčastěji v kombinaci s herními aplikacemi, které určitým způsobem stimulují pacienta k žádané motorické reakci na vzniklé okolnosti. Výhodou takového terapeutického přístupu je jeho názornost, intuitivní provedení, a především zábavná forma, které pacienta více motivují, což může mít v terapii značný efekt. Dalším pozitivem může být skutečnost, že zkušenost získaná v simulovaném prostředí, může v určitých případech pacienta připravit na podobné situace v reálném životě (de Miguel-Rubio, Rubio, Salazar, Camacho & Lucena Anton, 2020; Yeo, Chau, Chi, Ruckle & Ta, 2019).

Za krátkou existenci virtuální reality již byla zveřejněna řada studií, které si kladly za cíl zjistit efekt tohoto druhu terapie, a to hlavně u diagnóz jako je Parkinsonova choroba, dětská mozková obrna, roztroušená skleróza, CMP a v neposlední řadě také spinální léze. U velkého počtu těchto studií byl prokázán veliký potenciál při uplatnění společně s robotickou rehabilitací (Araújo et al., 2019). I na základě těchto poznatků, se můžeme v dnešní době setkat u předních výrobců robotických systémů pro reedukaci chůze, s kombinováním programů těchto zařízení a virtuální reality.

Konkrétní výsledky o zapojení virtuální reality do rehabilitace chůze přinesly některé konkrétní studie. Přímo u pacientů po poranění míchy zkoumali terapeutický efekt kombinace Lokomatu a VR Zimarelli et al. (2013). Do studie bylo zapojeno

12 pacientů s klasifikací léze od AIS-A do AIS-D a v rozsahu léze od segmentu C3 po Th12. Hlavním kritériem pro zařazení do studie byla schopnost stát vzpřímeně po dobu 30 sekund s dopomocí nebo bez. Vytvořena byla také desetičlenná kontrolní skupina zdravých jedinců.

Terapeutická jednotka probíhala takovým způsobem, že byl pacientům zprostředkován trénink v přístroji Lokomat, přičemž bylo současně před pacienty na rozměrné obrazovce promítáno alternativní prostředí, které utvářelo dojem, že se pacient pohybuje nejčastěji po rovné cestě v přírodě. Interaktivita této terapie pak byla zajištěna především díky *biofeedbacku*, kdy se rychlost, kterou pacient vyvinul na přístroji, přenesla úměrně do virtuálního pohybu na obrazovce. V jedné jednotce se vždy vystřídaly čtyři programy, které měly za cíl vyvolat u pacienta různou míru motivace. První program, zvaný „*steady*“, byl nejjednodušší formou, kdy pacientovi bylo prostředí pouze promítáno, ale žádná interakce mezi jeho úsilím a rychlostí na obrazovce nebyla umožněna. Druhý program „*speed*“ již podporoval interakci, a díky tomu byl pohyb zobrazený na obrazovce skutečnou zpětnou vazbou. Při třetím programu „*sprint*“ byli pacienti navíc informováni i o své průměrné rychlosti při dokončení ohraničených úseků. Nakonec byl v programu „*race*“ přidán element virtuálního soupeře, kterého pacienti mohli na obrazovce sledovat, a který tak ještě více zvyšoval jejich motivaci k výkonu (Zimarelli et al., 2013).

Výsledky autoři studie zjišťovali za použití elektromyografie svalů dolních končetin, konkrétně m. tibialis anterior, m. gastrocnemius medialis, m. biceps femoris a m. rectus femoris. Fyzickou zátěž také hodnotili pomocí měření srdeční frekvence. Z celkového zhodnocení naměřených hodnot následně vyplynulo, že v závislosti na změnách srdeční frekvence se největší rozdíl udál mezi programy „*Steady*“, který nepodporuje možnost interakce, a ostatními, kde je interakce důležitou složkou. Nutné je ale dodat, že vzhledem k možné autonomní dysfunkci na podkladě míšní léze mohly být některé hodnoty zkresleny. U kontrolní skupiny byla výrazná změna zjištěna mezi programy „*Speed*“ a „*Sprint*“, a také „*Steady*“ a „*Race*“, čímž se potvrdily výsledky naměřené v první skupině. Co se týká změn ve svalové aktivitě na EMG, mezi aktivitou jednotlivých svalů byly signifikantní rozdíly jak u skupiny pacientů, tak u skupiny kontrolní. Výsledky obou skupin se zde ale v některých případech lišily. U skupiny pacientů byly mezi programy výrazné rozdíly v aktivitě biceps femoris, rectus femoris i tibialis anterior ve švihové fázi. Ve stojné fázi se změna udála především ve svalech rectus femoris a tibialis anterior. U kontrolní skupiny zdravých osob se na rozdíl od

skupiny pacientů více projevily změny také v m. gastrocnemius medialis. Změny aktivace dalších svalů se také projevily v odlišném vzoru, a navíc s rozdílem, že změny v aktivitě byly u zdravých osob většinou výraznější (Zimarelli et al., 2013).

Autoři při celkovém vyhodnocení docházejí k závěru, že zapojení virtuální reality do terapie v robotickém systému zvyšuje její efektivitu, přičemž se odkazují na výsledky předešlých studií (Brütch et al., 2010; Schuler et al. 2011). Primárně ale potvrzují vlastní hypotézu, že možnost interaktivity ve virtuální realitě ještě více podněcuje snažení pacienta k lepšímu výsledku. Na obrázku 4 je zachycena terapie chůze s využitím virtuální reality.



Obrázek 4. Využití virtuální reality v kombinaci se systémem Lokomat (NeuroRehab VR, 2020)

3.2.3.2 *Funkční elektrická stimulace (FES).*

Tato metoda je již dlouhou dobu pevnou součástí neurologické rehabilitace. Cílem a principem stimulace je nahrazení nebo pomoc při volní aktivaci oslabených svalových skupin elektrickým drážděním svalu povrchovými elektrodami. Poprvé byla tato metoda využita již v roce 1961 při stimulaci n. peroneus při chybějící dorsální flexi nohy, takzvaném drop-foot syndromu. V tomto směru byla následně FES využívána jak v terapii, tak i v běžném životě pacienta, kdy je stimulace alternativou často využívané peroneální ortézy. V průběhu času se ale FES vyvinula i do takové podoby, kdy dokáže pomoci u pacientů s výraznými komplikacemi při chůzi. Současnou vícekanálovou stimulací gluteálních svalů, flexorů kyčle, flexorů i extenzorů kolene a hlezna, případně

vzpřimovačů trupu dokáže výrazně dopomoci při reedukaci chůze například u pacientů s inkompletní spinální lézí (Meng, Porr, Macleod & Gollee, 2017; Novotná et al., 2019). Bylo dokázáno, že FES přináší do konvenční fyzioterapie pozitivní efekt a podporuje například i plasticitu CNS (Bogataj, Gros, Kljajić, Acimović & Malezic, 1995).

Pro správné fungování FES je důležité její zapojení do přirozeného krokového cyklu. Prvním ovladačem nejjednoduššího stimulatoru byl patní tlakový spínač, jehož kontakt se zemí impulzy inicioval. Se složitějšími stimulačními okruhy ale přicházely také složitější ovladače. Setkat se tak můžeme se stimulatory, které pracují s pomocí akcelerometrů a inklinometrů (Meng et al. 2017; Novotná et al., 2019).

S rozvojem robotické rehabilitace v současnosti se FES stala přirozeně součástí také tohoto rehabilitačního směru. Doposud bylo zveřejněno několik studií, ke se objevila FES v kombinaci s tréninkem chůze v závěsu (Field-Fote, 2001; Schickettmüller, Rose & Hofmann, 2019) nebo také ve spojení s mechanickými ortézami RGO, kdy tímto spojením vznikají hybridní exoskelety. Tyto mechanické ortézy složí jako pasivní opora pro segmenty dolních končetin pacienta, kdy bezpečně stabilizují kotníky, kolena, kyčle a spodní část trupu. Dohromady s elektrickou stimulací utváří nástroj, který i pacientům s plegií umožňuje stoj a chůzi po rovině i ze schodů. Nevýhodou však je relativně rychle nastupující svalová únava (Kobetic et al. 2009).

Pozitivní efekt FES byl prokázán napříč studiemi. Přínos stimulace do obecné reedukace chůze shrnují například Novotná et al. (2019). Účinek přímo v robotické rehabilitaci pak v metaanalýze shrnují Morawietz a Moffat (2013), kdy srovnávají studie obsahující terapii chůze na páse v odlehčení s manuální dopomocí nebo FES, trénink v mobilním robotickém zařízení opět s manuální dopomocí nebo FES a také trénink v robotickém zařízení Lokomat. Výsledky srovnávaných studií potvrdily, že terapie s využitím FES měla na zlepšení chůze pacientů lepší efekt než trénink s manuální dopomocí.

3.2.3.3 *Neinvazivní mozková stimulace.*

Neinvazivní mozková stimulace představuje terapeutickou intervenci, při které pomocí elektrod pouštíme do těla pacienta slabý elektrický proud za cílem ovlivnit funkci specifických oblastí CNS (de Paz et al., 2019). K takovému výkonu se často využívá stejnosměrného proudu, kdy hovoříme o takzvané transkraniální stimulaci stejnosměrným proudem (tDCS). Další možností může být také stimulace CNS pomocí magnetické indukce a nazývá se repetitivní transkraniální magnetickou stimulací (rTMS).

Obě metody fungují na principu ovlivnění polarity na buněčných membránách neuronů. Výsledkem této intervence může být podle nastavených parametrů a také podle typu elektrody facilitace nebo inhibice vzniku akčního potenciálu (Pupíková, Šimko, Brabenec & Rektorová, 2018). Přičemž anoda při tDCS působí efektem excitačním, katoda naopak inhibičním (de Paz et al., 2019).

Neinvazivní mozková stimulace byla doposud považována spíše za alternativní metodu a své uplatnění v posledních letech nacházela například při léčbě depresí, při obnově řečových funkcí po cévní mozkové příhodě nebo také snaze o zlepšení kognice u neurodegenerativních poruch (Pupíková et al., 2019). Potenciál této metody se v posledních letech ale odborníci snaží nalézt také v terapii motorických funkcí u neurologických diagnóz. V této oblasti se lze opřít o výsledky studií dokazujících zvýšenou excitabilitu tractus corticospinalis při aplikaci anodálního tDCS v oblasti primárního i sekundárního motorického centra, při které se také objevily změny senzorických a motorických odpovědí (Murray et al., 2015; Yamaguchi et al., 2016) Navíc se objevuje možnost, že by tDCS mohla mít pozitivní efekt na neuroplasticitu v mozku díky chemickým změnám na synapsích (Stagg & Nitsche, 2011).

Na efekt transkraniální stimulace v terapii chůze se doposud zaměřilo hned několik studií. Například Kumru et al. (2016), kde byl testován efekt terapie v Lokomatu doplněný o rTMS, tedy stimulaci na základě magnetické indukce. Do studie bylo zahrnuto 31 subjektů s inkompletní míšní lézí klasifikace AIS-C a AIS-D. Ti byli následně náhodně rozděleni do dvou skupin, z nichž jedna byla kontrolní placebo skupina, které byla poskytována pouze falešná stimulace. Druhá skupina pak dostávala plnohodnotnou rTMS. Každý z pacientů podstoupil 20 terapeutických jednotek ve čtyřech týdnech, ve kterých byla zahrnuta dvacetiminutová aplikace pulzního rTMS a 30–45minutový trénink v Lokomatu. Trénink v Lokomatu pak pokračoval další čtyři týdny bez stimulace. Efekt autoři hodnotili podle změn spasticity, motorického skóre horní a dolní končetiny a také 10metrovým testem chůze. Výsledky následně ukázaly, že změny motorického skóre horních i dolních končetin byly po poslední aplikaci rTMS znatelně vyšší u skupiny s reálnou stimulací, stejně tomu bylo i po skončení následující čtyřtýdenní fáze. Při hodnocení 10metrového testu chůze nebyly mezi skupinami zaznamenány signifikantní změny a rozdíl mezi skupinami ve změně spasticity se podle modifikované Ashwortovy škály také neprokázal. Autoři výsledky studie shrnují tvrzením, že kombinace rTMS s tréninkem chůze přináší benefity pro zlepšení motorické funkce především dolních končetin.

Zmíněná studie se také objevila v systematickém review de Paz et al. (2019) vedle dalších studií zabývajících se efektem neinvazivní mozkové stimulace v kombinaci s tréninkem chůze u neurologických pacientů. Z tohoto review vyplývá, že se transkraniální stimulace jeví jako užitečný nástroj v rehabilitaci, kdy se za klíčový faktor jejího účinku považuje čas stimulace. Studie, které provedly větší počet terapeutických jednotek dosáhly se stimulací lepších výsledků. Analýzu autoři uzavírají tím, že je nezbytné provést další výzkumy pro potvrzení efektu tDCS i rTMS a jejich optimalizace, jako terapeutických nástrojů, čímž jsou myšleny dávkování, čas aplikace nebo uložení elektrod.

3.2.4 Hlavní přínos robotické rehabilitace

Za primární účel robotické rehabilitace ve výše popsaných stacionárních i mobilních zařízeních považujeme reedukaci chůze ve fyziologickém stereotypu u pacientů, kteří nejsou často z důvodu příliš nízké svalové síly schopni trénovat chůzi s oporou, ale bez odlehčení. Výhodou tak je, že se s touto formou terapie dá začít již v rané fázi rehabilitace pacientů, anebo také u pacientů, kteří nejsou schopni jiného způsobu chůze. Navíc se jedná o trénink specifické aktivity, který je efektivnější než konvenční posilování svalových skupin, zapojujících se při chůzi (Behrman, Bowden & Nair, 2006; Wessels, Lucas, Eriks & de Groot, 2010). Argumentovat lze také tím, že při dalších možnostech terapie chůze, není možno kontrolovat fyziologické provedení chůze takovým způsobem, jak tomu lze u moderních robotických systémů. Vzniklé patologické vzorce pak pacienta stojí více energie a jsou také spojené s horší stabilitou nebo nižší rychlostí.

V této kapitole bude nejprve představen efekt dvou konkrétních zařízení – Lokomat a ReWalk, které byly již výše podrobně popsány po stránce technické. Především u systému ReWalk byly vybrány také studie zahrnující pacienty s kompletní motorickou lézí, což znamená, že obnova samostatné chůze již u těchto pacientů není možná. Robotické exoskelety, ale nabízejí i těmto pacientům možnost samostatného pohybu, což může vést ke zkvalitnění jejich života. Následně budou použity studie, které byly zpracovány na toto téma, zasazené do kontextu i v porovnání s konvenční fyzioterapií u pacientů s míšní lézí.

Lokomat (Hocoma AG)

Oproti původním terapeutickým systémům, disponujícím běžícím pásem a závěsným systémem, má Lokomat značnou výhodu svých robotických ortéz, které do velké míry ulehčují práci terapeuta. Výhodou je i škála nastavitelných parametrů od míry odlehčení těla po účast aktivity ortéz při terapii, díky níž získává Lokomat nad dalšími terapeutickými postupy výhodu individuálního přizpůsobení pacientovi. Kombinace minimální náročnosti práce terapeuta a vysoká individualizace společně umožňují intenzivní terapii, při které pacient dosuje vysokého počtu kroků, což může mít pozitivní efekt na plasticitu CNS, a tedy také lepší výsledky při samostatné chůzi. Do srovnání s ostatními terapeutickými přístupy se Lokomat dostává v mnohých studiích, jejichž výsledky byly hromadně publikovány v rozsáhlých review. Některá z nich budou v této podkapitole představena.

Efekt Lokomatu na zlepšení chůze a celkové motorické aktivity zkoumá například systematické review Nam et al. (2017). To srovnává výsledky 10 randomizovaných studií o celkovém vzorku 502 participantů, kterými byli pacienti s inkompletní míšní lézí klasifikace AIS B, C a D, a s úrovní léze mezi C2 a L3. Všechny zařazené studie měly za cíl porovnat efekt Lokomatu a jiného typu rehabilitace, jako jsou konvenční trénink chůze, nespecifický trénink na bázi posilování svalových skupin, trénink na běžícím páse s odlehčením. Ve třech zařazených studiích pak autoři porovnávali skupinu trénovanou pomocí Lokomatu se skupinou, u které žádná pohybová léčba neproběhla.

Po dokončení analýzy všech prací Nam et al. rozčlenili výsledky do několika kategorií, představující různé aspekty chůze. Hodnocení efektu na ušlou vzdálenost, sílu dolních končetin a funkční úroveň mobility a soběstačnosti dopadlo významně lépe pro robotem asistovanou terapii v Lokomatu než pro konvenční metodu nácviku chůze, pouze však u pacientů s dobou kratší než šest měsíců od vzniku léze. V těchto ohledech nebyl u chronických pacientů s více než 12 měsíci od poranění zpozorován výrazný rozdíl. U těchto chronických pacientů však zaznamenaly jiné studie zlepšení v aspektech rychlosti chůze a rovnováhy. V obou případech v porovnání se skupinami pacientů, kteří pohybovou léčbu nepodstoupili. Skutečnost, že terapie v Lokomatu nebyla u některých skupin v daném ohledu úspěšnější však neznamená, že by byla neefektivní, jelikož toto review nabízí srovnání metod, které byly evidencí prokázány jako účinné (Nam et al., 2017).

Podobné srovnání jako Nam et al. (2017) přináší také jiné review, které publikovaly Morawietz & Moffat (2013). Zahnuté studie byly rovněž prováděny ve spolupráci

s pacienty s inkompletní lézí klasifikace AIS B, C nebo D. Rozdílem oproti předchozí práci je, že v tomto review autorky rozdělují pacienty do skupin podle vzniku léze do jednoho roku a od jednoho roku. Nam et al. pracují s první skupinou do šesti měsíců od vzniku. Výsledky u akutní skupiny pacientů ukázaly u všech hodnocených terapeutických intervencí (Lokomat, BWSTT s manuální dopomocí, BWSTT s FES a trénink chůze na zemi s odlehčením nebo FES) značné zlepšení. V aspektech rychlosti chůze, vzdálenosti a FIM skóre zaznamenaly nejvyšší nárůst hodnoty pacientů, kteří podstoupili trénink s využitím Lokomatu. V těchto ohledech se však vedlo podobně dobře také terapii s odlehčením na páse s manuální dopomocí nebo FES. Pozoruhodné je, že výsledky u chronické skupiny již pro pacienty trénované v Lokomatu tak příznivé nebyly. V aspektu rychlosti chůze dopadla tato skupina dokonce hůř v porovnání s ostatními, a to stejné pak potvrdily výsledky studií i u zvýšení ušlé vzdálenosti. Studie se dále zabývaly také ovlivněním průměrné délky kroků, která se pouze u této skupiny mírně snížila. Negativní výsledky robotické intervence v Lokomatu si autorky vysvětlují tím, že byla tato terapie v zahrnutých studiích prováděna s takovým nastavením parametrů, které zapříčinily spíše pasivní průběh.

Výsledky obou citovaných review naznačují, že terapie v robotickém systému Lokomat má svůj hlavní efekt především ve fázi akutní, kdy dokáže velice dobře pracovat s potenciálem, kterým tělo při léčbě disponuje díky zvýšené neuroplasticitě. V chronické fázi od jednoho roku však efekt klesá a je srovnatelný s ostatními druhy pohybové léčby.

Z jiného úhlu pohledu zkoumá využití Lokomatu recentní studie van Silfhout et al. (2019). Cílem zde bylo zjistit, jaké nejvyšší rychlosti chůze lze v průběhu robotické rehabilitace dosáhnout. Vybráni byli záměrně pacienti s kompletní lézí, z důvodu, že právě tito lidé mají v dnešní době možnost nahradit pohyb s pomocí vozíku za moderní robotické exoskelety. Ukazuje se, že průměrná rychlost chůze v exoskeletu je pouze 0,9 km/h, přičemž požadovanou rychlostí pro náhradu vozíku exoskeletem bývá až rychlost 2,1 km/h. Šest pacientů s převážně kompletní lézí v subakutním stadiu podstoupilo dvě 30minutové terapie v Lokomatu doplněné o další běžnou terapii. Průměrná nejvyšší rychlost chůze mezi pacienty byla 2,3 km/h, což by podle autorů v porovnání s dalšími studii mohlo znamenat, že bez použití podpory Lokomatu, budou pacienti schopni fyzicky tolerovat rychlost chůze 1,8 km/h. Nabízí se tak propojení obou tréninkových metod a také snaha o zjednodušení pacientova pohybu v exoskeletu pro pacientův efektivní pohyb v něm.

ReWalk (ReWalk Robotics)

Jednou z prvních studií, které byly na téma chůze v exoskeletu ReWalk zveřejněny, je studie Esquenazi, Talaty, Packel & Saulino (2012). Cílem práce bylo dokázat, že terapie v tomto zařízení je bezpečná a v tréninku chůze u pacientů s paraplegií má pozitivní vliv. Do této studie bylo zapojeno 12 pacientů s kompletní motorickou lézí v rozmezí segmentů Th7 až Th12, kteří byli alespoň 6 měsíců od vzniku této léze. Všem pacientům bylo zprostředkováno 24 tréninkových jednotek po dobu osmi týdnů, z nichž každá trvala mezi 60 a 90 minutami. Po osmitýdenní době intervence autoři sledovali přetrvání vlivu na fyzické schopnosti a psychiku měřených pacientů v roční *follow up* fázi. Hodnocení probíhalo na základě výsledků 6minutového testu chůze, 10metrového testu chůze, také laboratorního měření temporospatialní aktivity a dotazníku vztahujícího se k psychickému stavu ve *follow up* fázi. Na základě průběhu a výsledků docházejí autoři k závěru, že použití systému ReWalk je bezpečné a efektivní pro samostatnou chůzi paraplegického pacienta. Studie také popisuje i sekundární vlivy terapie, které budou více rozebrány v další kapitole. Tato samotná studie však obsahuje i některé nedostatky. Vzorek pacientů nebyl příliš veliký a také nebyly vytvořeny další skupiny s randomizovaným rozdělením, které by složili k porovnání efektu terapie. Studie však položila v tomto směru základ pro další zkoumání.

Lepší evidenci může nabídnout recentní metaanalýza Miller, Zimmermann & Herbert (2016). Cílem této práce bylo zjistit, zda dokáže terapie v robotickém exoskeletu efektivně a bezpečně facilitovat pohyblivost pacientů po míšním poranění a také zjistit další zdravotní benefity tohoto typu terapie. Zahrnuto bylo 14 studií reprezentujících 111 pacientů, kteří podstoupili terapii v systémech ReWalk, Indego nebo Ekso, přičemž v osmi z těchto studií byl využit právě systém ReWalk. Většina pacientů zařazených do těchto studií byly osoby s kompletní míšní lézí, asi čtvrtina pak se zachovalou částečnou motorikou dolních končetin. U všech zkoumaných osob byla léze v oblasti hrudní páteře.

Ke zjišťování výsledků byl u pacientů prováděn 6minutový test chůze v exoskeletu s možností opory o berle. Studie sledovaly intenzitu aktivity u pacientů pomocí konceptu metabolického ekvivalentu (MET), kdy 1 MET odpovídá 2,7 ml vydaného kyslíku na kilogram hmotnosti. Tento koncept je užitečný při interpretaci fyzické zátěže u jednotlivých aktivit. Užita byla také Borgova škála intenzity zátěže pro subjektivní posouzení. Napříč studiemi se značně lišila stavba rehabilitačního programu, kdy autoři metaanalýzy zaznamenávají plány v rozsahu 1 až 24 týdnů. Většina studií aplikovala

několikatýdenní program se třemi 1 až 2hodinovými jednotkami týdně (Miller et al., 2016).

Průřez výsledky studií ukazuje, že změřená intenzita zátěže během 6minutového testu chůze byla 3,3 MET, což odpovídá normální chůzi rychlostí asi 5 km/h. Na Borgově škále pak pacienti hodnotili námahu většinou stupněm 10, což značí mírný stupeň zátěže. Na základě průběhu a výsledků terapie autoři studií hodnotili tuto formu terapie jako efektivní a bezpečnou. Autoři v diskusi citované metaanalýzy zdůrazňují, že pouze 5 % zúčastněných pacientů má možnost samostatné chůze s oporou a pro všechny ostatní může představovat chůze v exoskeletu jedinou možnost vzpřímeného pohybu v prostoru. Po ukončení tréninkových programů bylo schopno samostatně a bezpečně používat exoskelet 67 % z těchto testovaných subjektů. Výsledky studií také vykazují potenciál terapie v exoskeletu především pro zlepšení kardiovaskulárních funkcí a vytrvalosti. Tento výrok je podpořen studií Arem et al. (2015), která dokazuje, že již při intenzitě 10 MET h/týdně, což je jednotka dosahovaná při sečtení tréninků ve studiích, se snižuje riziko předčasného úmrtí v lidské populaci obecně. Tato skutečnost by mohla vést do budoucna k větší snaze umožnit pacientům využití exoskeletů pravidelně také v domácím prostředí (Miller et al., 2016).

Limitace této metaanalýzy může být v poměrně výrazné rozmanitosti využitých studií a odlišnosti jejich rehabilitačních programů. Přesto se však mnoho výsledků napříč těmito studii jeví konzistentně a mnoho důležitých aspektů bylo napříč studii naopak velice homogenních. Navzdory některým limitacím je tato metaanalýza jednou z největších svého druhu na toto téma.

Na studie, které se uskutečnily v klinickém prostředí, později navázala studie van Dijsseldonk, van Nes, Guerts & Keijsers (2020), která přínos zařízení ReWalk zkoumá z pohledu domácího a terénního využití. Pacienti uváděli, že nejvíce exoskelet využili při vlastním tréninku a také při společenských událostech. V obou případech především mimo domov. Podstatným ukazatelem je vyhodnocení dotazníku spokojenosti, kde pacienti hodnotili některé aspekty používání exoskeletu. Ukázalo se, že určitou míru nespokojenosti nese obtížnost v ovládnání a váha přístroje. Uživatelé pozitivně hodnocími oblastmi byly naopak komfort, odolnost, rozměry, bezpečnost nebo celkový servis a případné opravy exoskeletu. Hlavním přínosem se pro 5 ze 14 testovaných subjektů ukázalo být zlepšení v oblasti sociálního a psychického zdraví. Pacienti dále popisovali také efekt na spasticitu, flexibilitu a bolest. Kromě pozitivních vlivů se však objevila také zvýšená bolest svalů a kloubů způsobovaná chůzí v exoskeletu.

Autoři studie na základě výsledků vnímají hlavní potenciál exoskeletu ve využití mimo domov. V takovém případě jej totiž využili pouze čtyři pacienti, opakovaně pak pouze jeden z nich. Pravděpodobně za to může skutečnost, že pacienti své denní činnosti v domácnosti raději provádějí způsobem, na který si již zvykli. Při možnosti volby raději využili exoskelet k chůzi venku či v tělocvičně nebo pro setkání s lidmi, kdy jim při stání exoskelet nabídl mezilidskou interakci na stejné posturální úrovni. V těchto ohledech prokazuje ReWalk vyšší potenciál (van Dijsseldonk et al., 2020).

Zařízení ReWalk je většinou využíván ke kompenzaci chůze u pacientů s motoricky kompletní lézí, čemuž nasvědčuje i počet studií na toto téma. Exoskelet je ale možno využít také v tréninku osob s inkompletní lézí pro obnovení nebo zlepšení možnosti jejich vlastní chůze. Takový případ popisuje studie Khan et al. (2019), která do tréninku chůze v exoskeletu zapojila pacienty s kompletní i inkompletní míšní lézí. Po dokončení 12týdenního tréninku dosáhli pacienti, kteří byli dříve schopni chůze na krátké několikametrové vzdálenosti, v 10metrovém nebo 6minutovém testu lepších výsledků než dříve. Největší zlepšení bylo zaznamenáno u pacienta dříve neschopného samostatné chůze, který byl na konci 12týdenní intervence schopen pomalé chůze s použitím chodítka. Autoři studie dále poukazují na významné zlepšení trupové stability u většiny pacientů, ať už s kompletní nebo inkompletní lézí. Toto zlepšení by dále u pacientů mohlo vést ke snazšímu provádění aktivit v denním životě.

Na téma vlivu systému ReWalk a dalších exoskeletů na kompenzaci chůze nebo její reedukaci u pacientů po míšním poranění vyšlo ještě několik dalších studií (Palermo, Maher, Baunsgaard & Nash, 2017; Hong et al., 2020) nebo metaanalýza Contreras-Vidal (2016). Společně se shodují, že pro zdokonalení terapie v těchto zařízeních i technické stránky samotných exoskeletů je nutné další zkoumání. Avšak z dosavadních zdrojů vyplývá, že tento směr rehabilitace by v budoucnu mohl přinášet pozitivní výsledky v terapeutickém i osobním využití. Zlepšení evidence by v tomto směru pak prospěla lepší dostupnost exoskeletů pro rehabilitační centra i jednotlivé pacienty.

3.2.5 Sekundární přínos robotické rehabilitace

Spasticita

Spasticita je jednou z nejčastějších a také nejvíce omezujících komplikací při míšních lézích. Sköld, Levi a Seiger (1999) uvádějí, že spasticita postihuje více než 60 % pacientů po traumatické míšní lézi. Efektem robotické rehabilitace na snížení spasticity se zabývají Adams a Hicks (2011), kteří ve své studii srovnávají účinek tréninku na běžícím páse s odlehčením a vertikalizačního stolu. Měření probíhalo 4 týdny, třikrát týdně. Využita byla modifikovaná ashwortova škála, Pennův dotazník pro frekvenci spasmů, index kvality života u spinální léze a také FIM. Ve srovnání si z krátkodobého i dlouhodobého hlediska vedl lépe trénink na páse v odlehčení, a to hlavně při porovnání flexorových spasmů, klonu a také hodnocení dotazníku mobility pacienta. Efekt verikalizačního stolu se projevil především v redukci extenzorových spasmů. Zmiňovaná studie Esquenazi et al. (2012) uvádí ve výsledcích 12 subjektů výrazné zlepšení u tří testovaných. Nikdo z dalších pacientů zároveň nezaznamenal zhoršení.

Povzbudivé výsledky publikují také Baunsgaard et al., 2018. Pacienti byli testováni v zařízení Ekso, rozdělení na dvě skupiny. První podstoupila 12 terapeutických jednotek, druhá 24. Pozitivní efekt na spasticitu byl prokázán u obou skupin vždy na konci jedné tréninkové jednotky. Dlouhodobý efekt na snížení spasticity tato studie ale neprokázala.

Bolest

U 4 z 5 jedinců po poranění míchy se rozvíjí chronická neuropatická bolest (Cardenas, Bryce, Shem, Richards & Elhefni, 2004). Léčba bolesti bývá především farmakologická, ale žádá si řešení i jinými způsoby. Svou důležitou roli v léčbě bolesti hraje také fyzioterapie a podle některých nedávných studií (Zeilig et al., 2012; Kressler et al., 2014) by se podílet mohla také oblast robotiky. Obě studie se na neuropatickou bolest zaměřují pomocí vizuální analogové škály. Pacienti hodnotili bolesti před a po terapii. Obě studie uvádějí zlepšení bolestivého stavu. Vzorek čtyř pacientů pro potvrzení efektu je však nedostatečný. Například Juszcak (2018) u svého vzorku 45 pacientů přímo zmiňuje, že z hlediska bolesti u pacientů k žádné změně nedocházelo.

Alternativní metodou při léčbě bolesti by se mohlo stát využití virtuální reality, která již byla dříve v této práci s robotickou rehabilitací spojována. Na toto téma vzniklo i systematické review Chi, Chau, Yeo & Ta (2019), které srovnává výsledky 9 studií. Autoři studií využívaly pro terapeutické jednotky různé programy virtuální reality. Nejčastěji byl použit program virtuální chůze, který pomáhal pacientům představit si

vlastní pocit při chůzi. Konkrétně způsobem, kdy ve spodní polovině velké obrazovky byla promítána část těla od pasu dolů, která kráčela krajinou. Horní polovina obrazovky reflektovala horní polovinu těla pacienta, který měl při terapii úkol synchronizovat pohyb svůj a postavy, která byla promítána. Některé studie využily pro terapii dokonce trojdimenzionální virtuální prostor. Všechny studie, které využily tento program virtuální reality, dosáhly pozitivního efektu při ovlivnění neuropatické bolesti. Míra efektu se napříč studiemi ale značně měnila z hlediska času. Jedna studie prokázala i dlouhodobý tříměsíční efekt, zatímco jiná dlouhodobé ovlivnění neprokázala. Autoři review se domnívají, že by tyto nesrovnalosti mohly být ovlivněny rozdílnými klasifikacemi míšních lézí podle ASIA u pacientů, nebo také rozdílnou segmentální lokalizací.

Pozoruhodný způsob intervence byl pak použit v kazuistice Oneal, Patterson, Soltani, Teeley & Jensen (2008), kde byla 38letá pacientka za účelem ovlivnění neuropatické bolesti přenesena do virtuálního prostoru zasněžených hor, přičemž jí byla sluchátky pouštěna hypnotická audio nahrávka. Pacientka udává, že veškerá dosavadní léčba bolesti byla neúspěšná. Během šesti měsíců podstoupila 33 sezení s virtuální hypnotickou intervencí. Výsledky prokázaly krátkodobý efekt, kdy pacientka udávala první 3 hodiny po terapii bez jakékoliv bolesti a mírnou bolest s odstupem 12 hodin od konce terapie. Dlouhodobý efekt ale zaznamenán nebyl.

Kardiovaskulární systém

Téma ovlivnění kardiovaskulárního systému má u pacientů po poranění míchy veliký význam. Ukazuje se, že tito lidé mají v důsledku míšní léze větší náchylnost ke kardiovaskulárním poruchám. Může za to především snížená aktivita asociovaná s nárůstem tělesné hmotnosti, ale také autonomní dysfunkce, které se mohou projevat v této spojitosti změnami krevního tlaku, sníženou variabilitou srdeční frekvence nebo arytmií (Myers, Lee & Kiratli, 2007).

Vlivem robotického systému ReWalk na změnu srdeční frekvence a spotřebu kyslíku (VO_2) se zabývala studie Asselin et al. (2015). Skupina osmi pacientů s klasifikací míšní léze AIS-A a AIS-B byla měřena pomocí šestiminutového testu chůze s pomocí exoskeletu. Výsledky potvrdily, že chůze u pacientů vyvolala vyšší hodnoty srdeční frekvence i spotřeby kyslíku, než jaké byly měřeny při klidném sedu a stojí. Srdeční frekvence se u pacientů při chůzi dostala průměrně na 50 % odhadovaného maxima, spotřeba kyslíku na 25 % odhadovaného VO_{2max} . Studie se sice nezabývala dlouhodobým efektem změn u těchto pacientů, autoři však uvádějí, že rutinní opakování

může být možností prevence vzniku kardiovaskulárních poruch. Efekt chůze v jiných přístrojích, konkrétně Indego nebo Ekso potvrdily také další recentní studie (Evans, Hartigan, Kandilakis, Pharo & Clesson, 2015; Kozlowski, Bryce & Dijkers, 2015)

Na téma ovlivnění kardiopulmonárních funkcí byla zpracována rovněž studie Cheung et al. (2017). Tato skupina autorů využila pro terapii systém Lokomat, a navíc metodu

EMG *biofeedbacku*, která měla za cíl podpořit svalovou kontrakci m. vastus lateralis. Zpětnou vazbu pacientovi zajišťoval zvukový signál, který zazněl, pokud byla svalová aktivace na EMG nižší než 30 %. Zde se autoři odkazují na výzkum, který efekt této metody potvrzuje (Hurd, Pegram & Nepomuceno, 1980). Srovnávány byly dvě skupiny po sedmi pacientech, kdy první skupina podstoupila několik hodin klasické terapie a také robotem asistovanou terapii v Lokomatu po dobu osmi týdnů. Terapie kontrolní skupiny sestávala především z pasivních a aktivních pohybů s dopomocí po stejnou dobu. Kromě pozitivních výsledků při terapii samotné chůze se v porovnání s kontrolní skupinou ukázala být terapie v Lokomatu efektivní i při snaze o zlepšení kardiopulmonárních funkcí. Konkrétně byly zaznamenány u všech 14 pacientů vyšší hodnoty maximální spotřeby kyslíku a maximální výdechové rychlosti. Podle autorů může k takovému zlepšení docházet buď díky zlepšení kondice dýchacích svalů a srdce nebo také vyšším nábořem motorických jednotek při aktivním pohybu v robotickém zařízení.

Pozitivní důkazy o efektu robotické rehabilitace na funkce kardiovaskulární i pulmonální jsou dobrou zprávou, neboť právě tyto tělesné systémy jdou ruku v ruce s pacientovou schopností samostatné chůze a jeho celkové vytrvalosti při aktivním pohybu.

Gastrointestinální a urogenitální funkce

Neurogení močový měchýř a snížená střevní motilita jsou typickými komplikacemi u pacientů, kteří utrpěli míšní poranění. Efektem robotické rehabilitace na funkci vylučování se zabývala studie (Huang, Yu, Gu, Zhou & Hu, 2015), která na 24 pacientech s inkompletní míšní lézí v oblasti Th8 až L2 srovnávala efekt terapie na běžícím páse v odlehčení s terapií chůze v exoskeletu. Výsledek studie potvrdil, že u obou skupin se po podstoupení terapie snížil čas potřebný k defekaci. U skupiny využívající k terapii exoskelet byl rozdíl v čase defekace před intervencí a po ní vyšší než u druhé skupiny. Autoři vysvětlují tento výsledek tím, že při chůzi v exoskeletu dochází k pohybovému stereotypu, který více podporuje intestinální peristaltiku a aktivní

abdominální tlak. U obou skupin k příznivému výsledku také jistě vede vzpřímená poloha pacienta.

V již citované studii Esquenazi et al. (2012), která se primárně zabývá efektivitou terapie v zařízení ReWalk potvrdilo 5 z 11 subjektů zlepšení také regulace gastrointestinálních a urogenitálních funkcí. Není ale jisté, zda toto zlepšení přetrvalo dlouhodobě po ukončení celého procesu. Podobného výsledku ve své studii dosáhl i Zeilig et al. (2012), kteří pracovali se šesti pacienty také v systému ReWalk. Jejich cílem bylo zhodnotit především bezpečnost používání tohoto zařízení. Terapie pacientů se skládala vždy ze 14 tréninkových jednotek v přístroji. Na konci jim byl mimo jiné předložen dotazník, který hodnotil i sekundární efekty terapie. Z výsledků dotazníku vyplynulo, že pacienti cítili při terapii zlepšení v gastrointestinálním traktu.

Efekt na kvalitu života

Pacienti využívající robotické exoskelety k umožnění vlastního vzpřímeného pohybu opakovaně uvádějí vyšší skóre v dotaznících souvisejících se spokojeností a kvalitou života. Pozitivní změny se neukazují jen v oblasti psychiky a emocí, ale také u některých somatických symptomů a limitace denních aktivit. Takovéto změny jsou opět výrazně asociované s možností vzpřímeného pohybu (Mekki, Delgado, Fry, Putrino & Huang, 2018).

Argumentovat lze také tím, že ke zlepšení života může vést zlepšení veškerých primárních i sekundárních oblastí pacienta, jejichž ovlivnění je v této práci popsáno. K podobnému závěru docházejí také Holanda et al. (2017), kteří ve svém review porovnávají efekt různých robotických systémů a přicházejí se závěrem, že robotická rehabilitace se pozitivně promítá také v oblasti kardiovaskulární, metabolické, gastrointestinální a renální, díky čemuž lze pozorovat psychologické zlepšení a zlepšení celkové kvality života. Totéž v dříve citovaném review uvádějí Nam et al. (2017).

Ovlivnění muskuloskeletálních funkcí

Další obvyklou komplikací, která přichází jako důsledek snížené tělesné aktivity, hormonálních změn a abnormální cirkulaci krve po poranění míchy, je osteoporóza. Zvýšené řídnutí kostí může u pacientů vést k častějším patologickým zlomeninám především distálního femuru a proximálního konce tibie, které mohou vzniknout například při pádech během transferů (Ashe, Craven, Eng, Krassioukov & Krüger, 2007; Maïmoun, Fattal, Micallef, Peruchon, & Rabischong, 2006).

Studii, které by se zabývaly vlivem robotické rehabilitace na zdraví kostí není mnoho. Téma ale řeší například nedávná studie (Karelis et al., 2017), která popisuje efekt terapie v robotickém exoskeletu na densitu kostní tkáně u pěti pacientů s kompletní transversální míšní lézí hodnocené AIS-A mezi segmenty C7 a Th10. Pacienti podstoupili tři hodinové terapie týdně po dobu šesti týdnů. Výsledky ukázaly průměrný nárůst kostní density tibie o 14,5 %. U jednoho z pacientů se díky intervenci změnil diagnostikovaný stav z osteoporózy na osteopenii. Autoři na závěr zmiňují, že by mohl být tento typ terapie v souvislosti s prevencí osteoporózy účinný, je však ale zapotřebí dalších výzkumů s početnějšími skupinami testovaných pacientů.

Na využívání robotických systémů u pacientů s osteoporózou lze ale pohlédnout také z jiného úhlu pohledu. Podle některých autorů (Miller, Zimmermann & Herbert, 2016; He, Eguren, Luu & Contreras-Vidal, 2017) může být robotická rehabilitace pro pacienty se sníženou kostní densitou nebezpečná z důvodu nepřiměřeného zatížení na křehkou tkáň. Závěrem obou studií je doporučení screeningu osteoporózy u každého pacienta indikovaného k robotické léčbě. Podle autorů by se mělo na osteoporózu v tomto případě hledět jako na relativní kontraindikaci.

3.2.6 Limity a možná rizika robotické rehabilitace

Stejně jako jakýkoliv jiný rehabilitační přístup, i robotická rehabilitace má své limity a nedostatky, na které je potřeba se zaměřit a brát je v úvahu. Riziky, které může obnášet používání robotizovaných exoskeletů, se zabývá práce He et al. (2017). Rizika a jejich zvládnutí popisují v souvislosti se současnými standardy pro zdravotnické prostředky vydané mezinárodní organizací pro standardizaci (ISO).

Jako hlavní riziko zde zmiňují pády, které při používání mobilního exoskeletu hrozí především kvůli sníženým sensorickým i motorickým schopnostem pacienta během pohybu. Pro prevenci pádů mají exoskelety v nastavení ochranné strategie. Například systém Indego je schopen detekovat vychýlení do všech směrů a pádu předejít ochranným manévrem. Míru efektivity tohoto manévru ale v literatuře neuvádí. Jiné přístroje, jako je například ReWalk nebo Ekso, podobný mechanismus detekce nemají (He et al., 2017). Studie Kolakowsky-Hayner, Crew, Moran & Shah (2013), která se zabývá bezpečností systému Ekso při používání přístroje zaznamenala několik pádů způsobených ztrátou rovnováhy subjektu, ale i vlivem softwarové chyby exoskeletu. Při těchto pádech byl pacient jištěn lanovým systémem, nelze tak hodnotit potenciální důsledky. Autoři studie

označují i navzdory zaznamenaným pádům přístroj jako bezpečný při používání s asistencí instruovaného odborníka a v bezpečném prostředí.

Problémem, který může v některých případech vést až k pádu, je možnost nepředvídatelné poruchy, zkratu nebo náhle vybití baterie v přístroji. Pád zde hrozí především v situacích, kdy pacient buď vstává ze sedu do stoje nebo v krokové fázi, kdy je v kontaktu se zemí pouze jedna dolní končetina. Při takovýchto selháních bývá softwarem robotického exoskeletu spuštěn program, jehož účelem je zajistit bezpečí pacienta. Například u zařízení Indego nebo Ekso dojde k zamknutí kolenních kloubů exoskeletu, zatímco klouby kyčelní zůstávají volné. Taková reakce přístroje umožní pacientovi stát na místě, dokud se nepovede situaci vyřešit. Přístroj ReWalk má strategii odlišnou. Pro snížení rizika zranění se klouby pomalu uzavřou do pozice sedu s cílem zmenšit riziko poranění při pádu (He et al., 2017).

Jinou popisovanou komplikací při používání robotizovaných exoskeletů mohou být poranění kůže a měkkých tkání. Děje se tomu tak v místech kontaktu s některou částí postroje exoskeletu (He et al., 2017). A například Hartigan et al. (2015) ve své studii udává, že lze předejít opakovanému poranění vložení dodatečné ochrany do místa kontaktu s pokožkou. He et al. (2017) dále dodávají, že podobným komplikacím by bylo možné předcházet vybavením exoskeletu tlakovými senzory, které by snímaly zatížení jednotlivých opěrných částí postroje, a na základě takto získaných informací, by bylo možné upravit polstrování těchto částí.

I přes možná rizika se napříč studiemi autoři shodují, že využití robotických exoskeletů v terapii pacientů se spinální lézí je bezpečné. Důležité pro bezproblémový průběh terapie je důsledná instruktáž personálu, který se zařízeními manipuluje, a také charakter prostředí ve kterém se nevyskytují překážky, které by mohly způsobit případný pád pacienta.

4 Kazuistika pacienta

4.1 Základní údaje

Pohlaví: Žena

Věk: 68

Datum vyšetření: 1. 9. 2020

4.2 Anamnéza

Osobní: Cholecystektomie pro lithiázu, operace děložního čípku, impingement pravého ramenního kloubu s bolestmi, hypertenze, DM II. typu léčeno perorálními antidiabetiky od roku 1995, warfarinizace pro paroxysmální fibrilaci síní, st. p. spont. verzi (březen 2016), polyartróza kloubní, osteoporóza axiálního skeletu, refluxní ezofagitis.

Rodinná: irelevantní.

Pracovní: dříve dělnice v lisovně a zámečnické dílně, starobní důchodce od roku 2012.

Sociální: vdova 29 let, bydlí v domově pro seniory, má 2 dcery cca 15 km daleko.

Abusus: nekouří, alkohol ne.

Farmakologická: Flexiparin 0,6 ml s.c. v 6.00–18.00, Omeprazol 20mg tbl. 1–0–1, K Cl tbl. 0–1–0, Nebivolol 5mg tbl. ½–0–0, Amaryl 3mg tbl. 1-0-0, Sirdalud 4mg tbl. 1-1-1-1, Lyrica 75

Nynější onemocnění: 17. 3. 2020 náhle vzniklé bolesti mezi lopatkami s poruchou hybnosti dolních končetin progredující do plegie. Akutně transfer do nemocnice s podezřením na epidurální hematom, úprava warfarinizace, spontánní ústup obtíží. 18. 3. 2020 ve 23 hod recidiva do paraplegie s anestezií od segmentu Th5. MRI prokázala ventrálně uložený epidurální hematom s maximem v etáži Th4–Th5–Th6. Znamky myelopatie v místě maximální komprese Th5–Th6. Nad ránem proběhl převoz na neurologickou JIP, kde byla týž den (19. 3. 2020) provedena dekomprese a laminektomie Th3–Th6 s evakuací premedulárního epidurálního hematomu. Později hospitalizace na nemocniční spinální jednotce až do 4. 6. 2020.

Vzhledem k rozvoji spazmů 14. 4. 2020 do terapie nasazen Baclofen. Při navyšování dávky dochází k rozvoji nauzey. Po vysazení z terapie potíže ustupují. Do terapie byl zařazen Sirdalud, který toleruje. 24. 5. rozvoj vertiga. Doporučení ORL lékaře k audiometrickému a otoneurologickému vyšetření. Pacientka si dále na uvedené potíže již nestěžuje.

Pacientka si nyní dále stěžuje na bolesti ramen, především pravého. Také na občasné bolesti v oblasti ThL přechodu.

4.3 Vyšetření

Vyšetření aspektů

Pacientka vyšetřována v sedě na lehátku. Pánev při sedu v lehké anteverzii, bez rotace v transversální rovině nebo asymetrie v rovině frontální. Bederní lordóza je i vlivem nastavení pánve více lordotizovaná blíže LS přechodu. Hrudní kyfóza je naopak patrně zvětšená. Ramena jsou v protrakci. Krční páteř v předsmu. Dolní končetiny spočívají opřené o zem, viditelná je atrofie m. quadriceps femoris.

Dechový stereotyp odpovídá hrudnímu dýchání, pacientka je schopna laterolaterálního rozvíjení hrudníku při manuálním kontaktu a navedení.

Vyšetření palpací

Palpací bilaterálně zjištěn hypertonus zejména flexorů kolenního kloubu, flexorů hlezna a adduktorů kyčelního kloubu. Hypertonus také na horních vláknech trapézů. Vyšší tuhost v oblasti mm. pectorales. Břicho je na pohmat volně prohmatatelné a nebolestivé. Zjištěno jen vyšší napětí m. iliopsoas. Jizva po zákroku v hrudní části páteře je posunlivá a dobře zahojená, ale mírně bolestivá (VAS 3).

Mobilita

Pacientka je schopná samostatného pohybu s využitím mechanického invalidního vozíku v interiéru. Přesunuje se na lůžko nebo lehátko samostatně bez využití skluzné desky. Na lehátku schopná samostatného přetáčení na boky, břicho i do kleku. Sed na lehátku bez opory je stabilní. Výdrž ve stoji u vysokého chodítka okolo 30 vteřin s výraznou oporou o předloktí. Chůze s vysokým chodítkem není možná.

Orientační vyšetření rozsahu pohybu

- V ramenu flexe i abdukce omezena do 110°.
- V kyčli pasivní rozsah omezený především do vnitřní rotace – o 1/3 (pro bolest).
- Při dorsiflexi v hleznu možný aktivní pohyb s dopomocí pouze do neutrální polohy.
- Zkrácení adduktorů kyčle, hamstringů, m. triceps surae, m. iliopsoas. Svaly jsou samozřejmě také ovlivněny centrálním hypertonem a spasticitou.

Vyšetření svalové síly

Svalové skupiny v oblasti krku, lopatky a horních končetin s inervací nad místem léze nevykazují známky snížení síly. Přiložená tabulka 2 informuje o omezení svalové síly v důsledku míšního poranění.

Tabulka 2

Vyšetření svalové síly trupu a dolních končetin

	Hodnota vpravo	Pohyb	Sval	Periferní inervace	Segment. Inervace	Hodnota vlevo	
Trup	2	Flexe	Rectus abdominis	Intercostales	Th ₆₋₁₂	2	Trup
	2	Extenze Th	Sacrospinalis	rr. Dorsales n. spin.	Th ₁₋₃	2	
	2	Extenze L	Iliocostalis Quadratus lumborum	rr. Dorsales n. spin. Plexus lumbalis	Th _{12-L2} , C _{3-L1}	2	
	2	Rotace	Obliquus externus abd. Obliquus internus abd.	Intercostales	Th ₅₋₁₁ , Th ₇₋₁₂	2	
	3+	Elevace pánve	Quadratus lumborum	n. subcostalis Plexus lumbalis	Th _{12-L2}	3+	
Kýčel	2+	Flexe	Iliopsoas	Plexus lumbalis Femoralis	L ₁₋₄ , L ₂₋₄	1+	Kýčel
	2	Extenze	Gluteus maximus Flexory kolen	Gluteus inf., Tibialis	L _{5-S2} , L _{3-S3}	1	
	2	Extenze (modif.)	Gluteus maximus Flexory kolen	Gluteus inf., Tibialis	L _{5-S2} , L _{3-S2}	1	
	2	Abdukce	Gluteus minimus a med. Tensor fasciae latae	Gluteus superior	L _{4-S1}	1	
	2+	Addukce	Adductores, Semitendinosus, semi membranosus	Obturatorius	L ₂₋₄	2	
	2+	Rotace zevní	Obturatorius externus	Obturatorius	L ₂₋₄	1	
	2	Rotace vnitřní	Gluteus minimus a med. Tensor fasciae latae	Gluteus superior	L _{4-S1}	1	
Koleno	3-	Flexe	Biceps femoris, Semitendinosus, Semi membranosus	Tibialis	L _{5-S2}	1+	Koleno
	3-	Extenze	Quadriceps femoris	Femoralis	L ₂₋₄	2-	
Kotník	3	Flexe plant. při flexi v koleni	Soleus	Tibialis	L _{4-S2}	2	Kotník
	3	Flexe plant. při extenzi v koleni	Triceps surae	Tibialis	L _{4-S2}	2	
	3	Inverze a dorsiflexe	Tibialis anterior	Peroneus profundus	L ₄₋₅	2	
	3	Inverze z flexe	Tibialis posterior	Tibialis	L _{5-S1}	2	
	3	Everze	Peronei	Peroneus superficialis	L _{5-S1}	2	
Prstce 2 - 4	2+	Flexe MP	Lumbricales	Plantaris med., lat.	L _{5-S1}	1	Prstce 2 - 4
	2+	Flexe IP ₁	Flexor digg. brevis	Plantaris tab.	L _{5-S1}	1	
	2+	Flexe IP ₂	Flexor digg. longus	Tibialis	L _{5-S1}	1	
	2+	Extenze	Extensor digg. longus et brevis	Peroneus	L _{4-S1}	1	
	2+	Abdukce	Interossei dorsales Abductor hallucis	Plantaris lat.	S ₁₋₂	1	
	2+	Addukce	Interossei plantares Adductor hallucis	Plantaris lat.	S ₁₋₂	1	
Palec	2+	Flexe	Flexor hallucis longus et brevis	Tibialis lat. a med.	L _{5-S2} , S ₁₋₂	1	Palec
	2+	Extenze	Extensor hallucis longus	Peroneus profundus	L _{4-S1}	1	

Neurologické vyšetření

Vyšetření vědomí:

Pacientka je lucidní, orientována místem, časem, vlastní osobou i okolními osobami, paměť je v pořádku.

Vyšetření hlavových nervů

- bez patologií.

Vyšetření v oblasti krku

Meningeální syndrom: bez příznaků.

Kořenová symptomatika: bez příznaků.

Zbarvení pokožky v normě.

Vyšetření horních končetin

- Konfigurace, tvar a tonus končetin v normě.

- Bilaterálně se objevuje lehký tremor.

- Bilaterálně omezený pohyb v ramenním kloubu.

Napínavé reflexy:

- bicipitový C5 hyperreflexie

- tricipitový C7 hyperreflexie

- styloradiální C5, C6 eureflexie

- pronační C5, C6 eureflexie

Čítí:

Vyšetřováno především v akrální oblasti pro vyloučení polyneuropatie

- Grafestezie 7/10

- Rozlišení ostré/tupé 8/10

- Termické čítí rozliší bez problémů

Vyšetření na nervosvalovou dráždivost:

- Chvostek I. Pozitivní

- Trömnerův příznak Negativní

Vyšetření v oblasti trupu

- funkční testy páteře netestovány

- hypestezie od Th5

- viditelně odstávající lopatky, nejedná se ale o neurologickou symptomatiku.

Vyšetření dolních končetin

Zánikové jevy:

- Mingazzini pozitivní
- Barré I., II., III. pozitivní

Spastické jevy:

- Babinski negativní
- Rossolimo pozitivní
- Žukovskij–Kornilov pozitivní

Napínavé reflexy:

- patellární L2–L4 hyperreflexie
- achillovy šlachy L5–S2 hyperreflexie

Čítí: od segmentu Th5 hypestézie.

Tonus: obě končetiny spastické, PDK spasticitou postižena ve větší míře.

Vyšetření spasticity

V tabulce 3 jsou zaznamenány výsledky vyšetření spasticity na dolních končetinách vyšetřované pacientky. Tabulka 4 pak složí pro orientaci mezi jednotlivými stupni modifikované Asworthovy škály.

Tabulka 3

Vyšetření spaticity na dolních končetinách podle modifikované Asworthovy škály

Levá DK	0	1	1+	2	3	4	Pravá DK	0	1	1+	2	3	4
Flexory prstců a hlezna				X			Flexory prstců a hlezna				X		
Extenzory hlezna	X						Extenzory hlezna	X					
Flexory kolene					X		Flexory kolene				X		
Extenzory kolene			X				Extenzory kolene		X				
Flexory kyčle			X				Flexory kyčle		X				
Extenzory kyčle			X				Extenzory kyčle			X			
Adduktory kyčle					X		Adduktory kyčle				X		

Tabulka 4

Modifikovaná Asworthova škála (Štětkařová et al., 2012; Bohannon & Smith, 1987)

Modifikovaná Asworthova škála (Štětkařová et al., 2012; Bohannon & Smith, 1987)
0 - Žádný vzestup svalového tonu
1 - Lehký vzestup svalového tonu manifestující se zárazem (zadrnutí a uvolnění nebo minimální odpor na konci rozsahu pohybu)
1+ - Lehký vzestup svalového tonu manifestující se zárazem (zadrnutí a minimální odpor během necelé poloviny rozsahu pohybu)
2 - Výraznější vzestup svalového tonu během celého rozsahu pohybu, ale postiženou částí těla lze snadno pohybovat
3 - Výrazný vzestup svalového tonu, pasivní pohyb je obtížný
4 - Postižená část je úplně nepohyblivá

Pro detailnější obraz o vyšetření zde přikládám také vypracovanou tabulku 5 strukturovanou podle ASIA:

Tabulka 5

Vyšetření úrovně a rozsahu míšni léze pacientky podle ASIA

	Pravá strana těla	Citlivost Klíčové body			Citlivost Klíčové body		Levá strana těla	
		Motorika Klíčové svaly	Lehký dotyk (LD)		Píchnutí špendlíkem (PŠ)	Lehký dotyk (LD)		
C2		2	2		2	2		C2
C3		2	2		2	2		C3
C4		2	2		2	2		C4
C5	5	2	2		2	2	5	C5
C6	5	2	2		2	2	5	C6
C7	5	2	2		2	2	5	C7
C8	5	2	2		2	2	5	C8
Th1	5	2	2		2	2	5	Th1
Th2		2	2		2	2		Th2
Th3		2	2		2	2		Th3
Th4		2	2		2	2		Th4
Th5		2	0		2	0		Th5
Th6		2	0		2	0		Th6
Th7		2	0		2	0		Th7
Th8		2	0		2	0		Th8
Th9		2	0		2	0		Th9
Th10		2	1		2	1		Th10
Th11		2	1		2	1		Th11
Th12		2	1		2	1		Th12
L1		1	0		2	0		L1
L2	2	1	0		1	0	1	L2
L3	3	1	0		1	0	2	L3
L4	3	1	0		1	0	2	L4
L5	2	1	0		1	0	1	L5
S1	3	1	0		1	0	1	S1
S2		1	0		1	0		S2
S3		1	0		1	0		S3
S4-S5		1	0		1	0		S4-S5
Vpravo celkem	38	47	25		48	27	32	Vlevo celkem
maximum	50	56	56		56	56	50	maximum

Motorická subskóre						Senzitivní subskóre					
PHK	LHK	MSHK Celkem	PDK	LDK	MSDK Celkem	PLD	LLD	SSLD Celkem	PPŠ	LPŠ	SSPŠ Celkem
25	25	50	13	7	20	47	48	95	25	27	52
max 25	25	50	max 25	25	50	max 56	56	112	max 56	56	112

Neurologické úrovně			3. Neurologická úroveň léze	Th4
1. Senzitivní	Th4	Th4	4. Kompletní/nekompletní	Nekompletní
2. Motorická	Th4	Th4	5. Rozsah míšni léze (AIS)	C

Volní anální kontrakce	NE
Hluboký anální tlak	ANO

4.4 Rehabilitační plán

Krátkodobý rehabilitační plán

V průběhu pobytu v rehabilitačním ústavu Hrabyně podstupovala pacientka velice komplexní rehabilitační program, který se skládal z individuální fyzioterapie, ergoterapie a také pracovních činností. Od počátku pobytu byla samotná fyzioterapie stavěna na facilitaci paretických svalů pomocí technik PNF v diagonálách dolních končetin a pánevního pletence. K posílení je využíváno také cvičení jednotlivých svalových skupin analytickými pohyby podle svalového testu, a to s pomůckami i bez nich. Důležitou součástí při zvyšování svalové síly je také zapojení cviků zlepšujících stabilizační funkci svalů. Z toho důvodu byl při individuální terapii využíván nácvik mostění, opora v šikmém sedu nebo stabilizační cvičení ve vzpřímeném sedu na lehátku.

Svalová aktivace se kromě paretické části těla týkala samozřejmě také horní nepostižené části. Pro budoucí potřebu při chůzi o berlích byl zapojen posilovací trénink extenzorů paže a lokte. Kvalitní opěrnou funkci těchto svalových skupin by mohlo zajistit cvičení v extenčním vzoru první diagonály podle PNF, tlak nataženou končetinou proti overballu nebo snaha o vzepření se na rukou při vzpřímeném sedu. Na horní polovině těla je třeba také pamatovat na dysbalance vznikající nerovnoměrným zatěžováním při pohybu na invalidním vozíku. Z toho důvodu byly zapojeny cviky s využitím therabandu na posílení zevních rotátorů ramenního kloubu a cvičení v diagonálách lopatky podle PNF se zaměřením na aktivaci m. serratus anterior a mezilopatkových svalů. Vynikajícím způsobem pro posílení horní i dolní části těla by u této pacientky mohla být také terapie v závěsném systému, například v Redcordu.

Důležitým bodem v terapeutickém plánu je také ovlivňování spasticity a předcházení zkracování svalů a vzniku kontraktur. Zde je možné využití prodlouženého strečinku a využití také přiložení ortéz v antispastické poloze. Podle vyšetření spasticity je u této pacientky nejdůležitější zaměřit pozornost na flexory kolene, adduktory kyčle a také flexory prstů a hlezna. Na horní polovině je vhodné pravidelný strečink soustředit na mm. pectorales, horní porci m. trapezius, m. levator scapulae, mm. scaleni a m. sternocleidomastoideus. Svaly postižené reflexními změnami je možné ošetřit pomocí měkkých technik, v části těla s neporušeným citím pak také například kombinovanou terapií. Samozřejmostí je také práce s jizvou vzniklou při chirurgickém výkonu na páteři.

Již na samém začátku terapie bylo hlavním cílem pacientky obnovení možnosti chůze. V průběhu terapie je vertikalizaci do stoje a snaha o chůzi věnována značná

pozornost. Vertikalizace je prováděna s oporou u žebřin a dopomocí terapeuta a zajištěním zámku obou kolenních kloubů pomocí ortéz. Výdrž v této pozici se pohybuje okolo 30 sekund. Vyzkoušen byl také nácvik chůze ve vysokém chodítku s vybavením kolenními ortézami a odlehčovacím padákem. Pacientka byla schopna chůze okolo deseti metrů s ukončením pro rychlou svalovou únavu. Bez odlehčení v padáku a výrazné opory horními končetinami o chodítko by chůze nebyla možná. K nácviku chůze byl ale po měsíci a půl od zahájení pobytu v ústavu indikován trénink chůze v robotickém systému Lokomat, který pacientka aktuálně podstupuje dvakrát týdně. Nastavení parametrů Lokomatu je prozatím s výraznou dopomocí při chůzi, pacientka se ale během půlhodiny v tomto přístroji snaží pohyb robotických ortéz aktivně doprovázet.

Dlouhodobý rehabilitační plán

V dlouhodobém horizontu by měla být další pozornost intenzivně soustředěna na trénink chůze, kde pacientka prokazuje potenciál a chuť ke zlepšování. Tento proces bude pravděpodobně probíhat i po opuštění rehabilitačního ústavu, kdy lze očekávat při vlastní lokomoci kombinaci využívání invalidního vozíku a chůze s oporou o kompenzační pomůcku. V následné péči by měl být neustále kladen důraz na prevenci vzniku komplikací pohybového systému, především pak v oblasti ramenních pletenců, kde si již nyní pacientka stěžuje na občasné bolesti.

Terapeut zde může také dopomoci pacientce při hledání určité zájmové činnosti. Vzhledem k věku bude pacientka preferovat spíše klidnější činnost než sportovní aktivitu. Důležité je ale v tomto případě poučení o důležitosti fyzické aktivity, kterou v časně době po opuštění ústavu může být právě trénink chůze, která v této době bude pravděpodobně stále poměrně namáhavým natolik, že jiná fyzická zátěž nebude nutností.

Zapomenout by se nemělo také na sociální zázemí pacientky. V tomto ohledu lze snad očekávat spojení s oběma dcerami. Pokud se pacientka bude moci vrátit zpět do domova seniorů, kde bydlela předtím, aspekt sociálního naplnění bude zřejmě vyřešen.

Pomůcky

Mechanický invalidní vozík, vysoké chodítko, overball, gymball, systém Lokomat, motomed, vertikalizační stojan, vertikalizační balanční stojan, žebřiny, balanční čochka, theraband.

5 Diskuse

Poranění míchy je závažným typem postižení, se kterým se lidská společnost podle historických záznamů potýká již tisíce let. Prognóza u pacientů v dávných dobách starověkého Egypta nebo antického Řecka nebyla většinou příliš příznivá. V současném technicky vyspělém světě je díky možnosti operativních výkonů na páteři zvládnání akutního stavu po poranění na úrovni, kdy v této fázi lékaři zachraňují životy mnohých lidí. Jakkoliv je ale akutní operativní intervence efektivní, progóza pacienta v kontextu návratu do života, jaký žil před poraněním, je v dlouhodobém horizontu nepříznivá. Pacienti se často po zbytek života musejí potýkat s bariérami ve fyzickém i spočenském prostředí, což velice často negativně ovlivňuje kvalitu jejich života. Každoročně v České republice přibývá mezi třemi a čtyřmi osobami na 100 000 obyvatel, které se budou muset těmito překážkami vypořádávat. Je ale důležité zmínit, že současná rehabilitační péče, kterou nabízejí nemocniční spinální jednotky a specializované ústavy, se dostává na vysokou úroveň a pomáhá tak zvyšovat kapacitu pacientů pro zdolávání veškerých překážek (Kříž & Chvostová, 2009; Šámal, Ouzký & Haninec, 2017).

Obvykle hlavním problémem, který znesnadňuje participaci pacienta v běžném životě, je nomžnost chůze a odkázanost na invalidní vozík. V celém světě pozorujeme intenzivní snahu o to, aby osoby s inkompltním postižením byly schopné znovu chodit a zbavit se tak možství poteciálních překážek v životě. K dosažení tohoto cíle bylo v průběhu času aplikováno mnoho různých přístupů, ať už šlo o konvenční cvičení svalové síly dolních končetin nebo nácvik chůze s opěrnou pomůckou. Modernějšími způsoby pak byly terapie na páse v odlehčení nebo také nejnovější robotické systémy, které mají potenciál utvářet celé rehabilitaci chůze nový rozměr. V mnoha studiích poslední doby byl terapeutický efekt těchto robotických zařízení porovnáván s dalšími metodami využívanými v klinické praxi (Kříž et al., 2010; Díaz et al., 2011; Vařeka et al., 2015).

Stejně jako u dalších neurologických, a nejen neurologických diagnóz, je důležité znát neurofyzilogické principy a mechanismy, které doprovázejí každý časový úsek již od vzniku léze. Těmto nerofyziolgickým pochodům je pak potřeba se přizpůsobit a využít je ve prospěch rehabilitace. Typickým případem může být neuroplasticita, jejíž potenciál je nevyšší v prvních týdnech až měsících od poranění (Gassert & Dietz, 2018). Dlouhodobě se ukazuje, že nejvhodnějším způsobem pro maximalizaci neuroplastické odpovědi je nácvik specifických pohybových vzorů a aktivit, které konkrétně chceme v terapii ovlivnit. Ke zlepšení výsledků chůze může u pacientů s inkompletní lézí

docházet vlivem neuroplasticity a regeneračních mechanismů samovolně i bez terapeutické intervence. Stejně tak dochází k pozitivním změnám při nesespecifickém tréninku svalové síly a flexibility. Nejlepších výsledků v časné fázi, i díky naplnění potenciálu neuroplastické odpovědi, dosahujeme právě aktivitou, kde se uplatní přirozený pohybový stereotyp, díky kterému je centrální nervový systém zásoben potřebnými aferentními signály, jejichž zpracování v CNS poděkuje další zlepšování trénované aktivity (Dobkin, 2000; Dietz et al. 2002; Thomas & Gorassini, 2005; Zabukovec, 2013).

Další výhodou moderních robotických systému vedle maximalizace neuroplasticity tréninkem specifické činnosti je skutečnost, že je možné pacientovi touto formou zprostředkovat delší a intenzivnější trénik chůze s několikanásobně vyšším opakováním krokového cyklu, než jak tomu je u jiných metod. Děje se tak díky odstranění fyzických nároků na terapeuta a také lepšímu posturálnímu zajištění pacienta, které mu umožňuje soustředit více energie do samotné chůze. Například u tréninku chůze na běžícím pásu s odlehčením, kde je terapeut často nucen dopomáhat a korigovat pohyb nohou pacienta, není možné dosahovat stejné délky cvičební jednotky jako se systémem typu Lokomatu. Tato výhoda robotických systémů má také svůj efekt na zmiňovanou neuroplasticitu. Bylo dokázáno, že vyšší počet opakování chůzového cyklu pozitivně koreluje s plastickými změnami v CNS (Colombo, Joerg, Schreier & Dietz, 2000; Vítečková, Jiřina & Krupička, 2011).

Ačkoliv byl dokázán významný pozitivní efekt na plastické změny v CNS a reedukaci chůze u pacientů s inkompletní míšní lézí, je důležité brát v potaz, že tyto pozitivní změny probíhají především v časném několikaměsíčním období od vzniku léze. Výsledky studií potvrzují, že robotická rehabilitace zahájená později než rok od poranění, není u pacientů příliš efektivní. Pokud dojde navíc ještě například ke špatnému nastavení parametrů, které vede k přílišné pasivitě pacienta při tréninku chůze, může být takovýto způsob robotické rehabilitace dokonce méně účinný než jiné formy terapie (Nam et al., 2017; Morawietz & Moffat, 2013).

Vedle způsobů pro reedukaci chůze byla v této práci určitá pozornost věnována také kompenaci chůze u pacientu s lézí kompletního charakteru. K tomuto účelu jsou v posledních několika letech konstruovány a zdokonalovány robotizované exoskelety, které pod dohledem pověřené blízké osoby mohou pacienti ve svém volném čase používat. Jedná se o velice dobrou a progresivní myšlenku, avšak použití exoskeletu v současnosti obsahuje některé výrazné nedostatky. Tím hlavním je poměrně nízká rychlost pohybu v exoskeletu, ozačovaná jako neefektivní pro přechod k exoskeltu

z invalidního vozíku. Další komplikací může být vysoká cena exoskeletu sahající až ke dvěma milionům českých korun. Pomýšlet bychom však měli také na to, že kromě prosté náhrady kompenzační pomůcky nabízí exoskelety oproti vozíku mnohé benefity týkající se ovlivnění celého organismu (Miller et al. 2016; Mekki et al. 2018).

Argumentem pro další zdokonalování a vývoj exoskeletů může pramenit ze závěru, který přednesli Gassert & Dietz (2018). Ve své práci zmiňují, že plasticita nerovnové soustavy je omezená a úplná obnova schopnosti chůze, i u pacientů s inkompletní lézí, je nepravděpodobná. I tito pacienti by se tak mohli stát cílovou skupinou výrobců exoskeletů a díky alespoň částečné motorické aktivitě dolních končetin by pro ně mohlo být používání uzpůsobeného exoskeletu jednodušší a výhodnější než pohyb na vozíku.

Do bakalářské práce byly zahrnuty také metody využitelné v kombinaci se samotnou terapií v robotických systémech. Nejprve bylo popsáno propojení virtuální reality s tréninkem chůze s využitím Lokomatu. Studie Zimerelli et al. (2013) s velice nápaditým způsobem zjišťování vlivu virtuální reality na výsledek pacienta popisuje vyšší motivaci a lepší výkon pacientů v závislosti na míře interaktivity zprostředkované virtuálním prostředím. Zapojení videohry do terapie tedy unatelně ovlivňuje jeho motivaci, a to i díky možnosti sledovat zlepšující se výsledky při hře v průběhu času. Terapeut by si zde ale měl dát pozor u roztržitých pacientů na situaci, kdy se pacient ponořený do virtuálního světa snaží posouvat své výkony na úkor správného provádění trénovaného pohybu. Virtuální realitu jako možnost ovlivnění neuropatických bolestí zase zkoumá s několika pozitivními výsledky review Chi et al. (2019).

Dále bylo popsáno spojení robotické rehabilitace s motadami funkční elektrické stimulace (FES) a také neinvazivní mozkové stimulace v podobě transkraniální stimulace stejnosměrným proudem (tDCS) a transkraniální magnetické stimulace (rTMS). FES je metodou v klinické praxi již dlouho používanou a dobře známou. V souvislosti s terapií v robotických systémech bylo zjištěno, že skupiny, u kterých byla FES během tréniku použita, dosahovaly lepších výsledků než skupiny s pouhou manuální dopomocí při terapii (Morawietz & Moffat, 2013). Aplikace neinvazivní mozkové stimulace při terapii chůze je ze tří zmíněných metod doposud zřejmě nejméně využívanou. Ačkoliv za jejím pozitivním účinkem stojí například publikace Kumru et al. (2016) nebo de Paz et al. (2019), je tato oblast v kontextu robotické rehabilitace stále relativně málo prozkoumaná a není jisté, zda by úsilí vynaložené pro sprostředkování této formy terapie přineslo významnou výhodu oproti jiným metodám.

Některé z benefitů, které robotická rehabilitace chůze nabízí, se týkají také sekundárních komplikací a neměly by být opomíjeny. Prokázané pozitivní vlivy na srdeční činnost, pulmonální funkce, spasticitu, bolesti, nebo také činnost gastrointestinálního a urogenitálního ústrojí, mohou společně zajisté vést ke zlepšení celkové kvality života pacienta. Mnoho z těchto příznivých efektů je samozřejmě spojeno do velké míry už jen se samotnou vertikací pacienta. Problematikou efektu robotické rehabilitace na typické komplikace spinálních pacientů se zabývá hned několik prací (Sköld et al., 1999; Cardenas et al., 2004; Adams & Hicks, 2011; Esquenazi et al., 2012; Asselin et al., 2015; Mekki et al., 2018). Mimo již zmíněných popisuje Karelis et al. (2017) pohyb ve vertikále s pomocí robotického systému jako vhodnou prevenci osteoporózy. Miller et al. (2016) a He et al. (2017) ale upozorňují na využívání těchto zařízení u pacientů s pokročilou osteoporózou, kterým hrozí již při mírném zatížení vznik patologických fraktur.

V souvislosti s robotickou rehabilitací jako takovou, vytvořenými studii či případně touto prací, můžeme hovořit také o nejrůznějších nedostatcích. Bavíme-li se o limitech vyloženě robotické rehabilitace jako takové, nabízí se na prvním místě zmínit vysokou cenu, kterou musí poskytovatel rehabilitační péče zaplatit. Cena široce používaného zařízení Lokomat se na trhu pohybuje podle výrobní verze a množství příslušenství až kolem deseti milionů českých korun. Je ale možné odkoupit již dříve používané zařízení od jiného poskytovatele zdravotních služeb za výrazně nižší částku. Ekonomickou stránkou věci se zabývá ve svém článku Calabrò et al. (2020). Zmiňuje, že mnoho pracovišť se zdráhá investovat vysokou sumu do robotických zařízení, jejichž následná údržba vyžaduje další relativně vysoké náklady. Při zavzatí pacienta do celého procesu, můžeme konstatovat, že samotná terapie je příliš nákladná. Avšak Calabrò et al. docházejí na základě výsledků studií k názoru, že díky vysokému efektu robotické rehabilitace se vyplatí do těchto zařízení investovat. Jednak tedy pro jejich efekt a také pro to, že pro mnohé pacienty se v časně fázi jedná o jediný možný způsob vzpřímené chůze. V České republice řešení tohoto ekonomického dilema spočívá v centralizaci rehabilitace pacientů s míšním poraněním do specializovaných pracovišť, která jsou robotickými systémy dobře vybavena.

Jiný ekonomický problém vyvstává u robotizovaných exoskeletů určených ke každodennímu používání pacientem. Vzhledem k nedostatkům například v podobě neefektivní rychlosti chůze v exoskeletu a relativně krátké výdrže baterie, a s přihlédnutím k vysoké ceně exoskeletu, je pro pacienta jeho koupě spíše nevýhodná.

Finanční otázku exosketů řeší Pinto et al. (2020), kteří shromažďovali a analyzovali data především nemosničních zařízení, které se rozhodly do terapeutických forem exoskeletů investovat. Na základě změn nákladů na terapii před zařazením tréniku chůze v exoskeltu a po jeho zařazení byly logicky vytvořeny skupiny finančně neefektivních, finančně neutrálních a finance šetřících zařízení. Faktorů, které výsledek ovlivní je samozřejmě mnoho, počínaje terapeutickou účinností konkrétního robotického přístroje, přes kompetenci terapeuta vedoucího terapii až po celkové zacházení s danou situací v zdravotnickém zařízení. V závěru tak lze tuto ekonomickou otázku shrnout tak, že při správném výběru efektivního robotického systému a dobře vedené terapii může být dlouhodobý ekonomický výsledek lepší i přes vysokou iniciální investici do daného robotického exoskeletu.

Jinou limitací, která se ale netýká přímo terapie v robotických systémech, je poměrně nízký vzorek testovaných subjektů napříč studiemi. Některé studie zahrnuté v této práci bylo prováděno s vzorkem pacientů menším než 20 osob. Důvodem pro takto málo početné skupiny může být časová náročnost výzkumu, kdy mnohé studie popisují velký počet tréninkových jednotek zprostředkovaných jednotlivým pacientům a časová dotace na jednoho pacienta nakonec čítala i několik desítek hodin. Na úkor kvantity se tak autoři raději zaměřují na důsledké zkoumání menší skupiny, které je v kontextu cílů studií logicky důležitější. Dalším příčinou menších skupin subjektů mohou být náročné vstupní požadavky autorů, znemožňující participaci některých pacientů s nevyhovující úrovní míšňí léze pro daný výzkum nebo dalšími patologiemi vyskutijícími se u těchto osob.

Nicméně nedostatky studií v podobě malého vzorku pacientů jsou eliminovány díky snaze autorů o tvorbu rozsáhlých review soustřeďujících vždy několik studií podobného charakteru. Součtem subjektů v těchto reviews získáváme několikanásobně vyšší počty a také ucelenější povědomí o zkoumané problematice. Napříč studiemi se navíc ukazuje poměrně vysoká míra homogenity výsledků, což vzájemně dodává jednotlivým výzkumům na relevanci. Zajisté je však zapotřebí dalšího bádání, a to především v oblastech, kde se autoři ve svých závěrech rozcházejí.

6 Závěr

Možnost smaostatné chůze je u pacientů s míšním poraněním je pro většinu z nich zřejmě subjektivně nejvíce omezující komplikací. U těch pacientů, kteří mají šanci na částečnou nebo úplnou obnovu jejich vertikální lokomoční kapacity, by mělo být věnováno co největší množství energie k obnově motorické funkce dolní části těla v co největší míře. Nejefektivnější cestou, kterou bychom se měli vydat, je začátek terapie chůze již v časně fázi po vyřešení primární příčiny léze. A to z důvodu, že právě v prvních měsících lze dosáhnout nejlepšího zlepšení díky zvýšené plasticitě CNS, přičemž, tento efekt lze ještě více podpořit tréninem specifické aktivity, zde konkrétně chůze. Na těchto neurofiziologických aspektech jsou postaveny principy robotické rehabilitace, jejíž efekt je dlouhodobě empiricky i evidencí dokazován.

Skutečnost, že byly metody robotické rehabilitace dokázány jako efektivní, a v některých časových obdobích dokonce více než jiné využitelné terapeutické přístupy, by nás ale neměla stavět do pozice, kdy bychom spoléhali pouze na efekt jediné metody. Naopak optimální přístup v terapii by měl být založen na individualitě každého pacienta a jím stanovených cílech, kterých dosáneme vhodným výběrem ze široké škály terapeutických možností.

7 Souhrn

Míšní léze je složitou neurologickou diagnózou, která může podle svého rozsahu a úrovně přinášet velmi různorodý klinický obraz. Mimo hlavní neurologickou symptomatiku je toto postižení u mnoha pacientů doprovázeno i sekundárně vzniklými komplikacemi, vyžadující širokou mezioborovou spolupráci zdravotnického týmu. Pro komplexní charakter míšního poranění a nutnost dlouhodobé zdravotní péče byl v ČR vytvořen spinální program, který zajišťuje efektivitu komprehensivní rehabilitace.

Jedním z hlavních cílů rehabilitační léčby je zachování, nebo případně rozšíření funkčního potenciálu pacienta. Primární snahou u pacientů s inkompletní lézí by měla být terapie soustředící se na obnovení schopnosti chůze, což bývá také často jedním z hlavních přání pacientů. K tomuto účelu byly v posledních desetiletích vyvíjeny robotické systémy, které byly v průběhu let evidencí prokázány jako plnohodnotný prostředek pro terapii.

Hlavními výhodami, jaké robotická rehabilitace oproti jiným metodám přináší, jsou nižší pracovní úsilí terapeuta a také možnost delší a intenzivnější terapie vlivem efektivního pohybu. Specificita pohybu podpořená vykonáváním fyziologického krokového vzoru pak prokazatelně ovlivňuje plasticitu CNS, což je pokládáno za hlavní neurofyziologický princip robotické rehabilitace. Zde se především v akutní fázi ukázala být robotická rehabilitace jako účinnější oproti jiným přístupům.

Kromě způsobů zaměřených na obnovu chůze u pacientů s lézí inkompletní je rovněž pozornost věnována pacientům s kompletním postižením. Těm bylo v posledních letech umožněno znovu chodit díky robotickým exoskeletům plnících v tomto kontextu protetikou funkci. Nicméně k efektivnímu zapojení exoskeletů do běžného života pacientů vede ještě dlouhá cesta.

Přínos robotické rehabilitace se vedle obnovy nebo kompenzace chůze týká také vzniklých sekundárních komplikací. Pozitivní vliv je zde způsoben hlavně díky aktivitě ve vzpřímené vertikální poloze, která je pacientovi upoutanému na invalidní vozík poměrně vzácná. Ovlivnění funkcí pohybového systému i činnosti vnitřních orgánů může vést k výraznému zlepšení kvality života.

Efekt především na obnovu motorických funkcí může být dále podpořen kombinací s dalšími metodami. Těmi mohou být konkrétně virtuální realita, funkční elektrická stimulace nebo neinvazivní mozková stimulace. Všechny z těchto tří prokázaly ve spojení s robotickou rehabilitací dobrý potenciál. Především pak přidání virtuální reality s herním

režimem přináší do terapie dětí i dospělých nový rozměr a vyšší míru motivace ke zlepšení.

8 Summary

Spinal cord lesion is a complicated neurological diagnose which can lead to different medical states depending on the level and type of the injury. Besides the main neurological symptoms, there are also many secondary complications. Dealing with these complications requires an interdisciplinary approach, particularly due to the complexity of spinal cord injuries and long-term health care requirements. As a response, a specialized Spinal Program was created in the Czech Republic, which offers comprehensive rehabilitation for spinalised patients.

One of the main rehabilitation treatment goals is a preservation or even an improvement of patients' functional capacity. In rehabilitation, gait restoration should be prioritised as it is also a common wish of almost every patient. To this purpose, various robotic devices have been developed in the past few decades. Robot-assisted gait therapy (RAGT) was evaluated and established as an efficient method based on evidence-based medicine.

In comparison to other methods, the main benefits of RAGT are lower efforts on the part of the therapist, prolonged and more intense therapy thanks to the efficiency of movement. Also, specific activity together with physiological gait stereotype have a great impact on the neuroplasticity, which is the main neurophysiological principle of the rehabilitation robotics. Compared to other available methods, RAGT was proven to be more effective, especially in acute stages.

Apart from the efforts focused on gait recovery in patients with incomplete lesion, attention is also directed towards patients with complete spinal cord injury. In recent years, patients have been introduced to robotic exoskeletons available for a prosthetic use. Although there is still a long way to go with exoskeletons efficiently making patients' lives easier, thanks to these exoskeletons, people are able to walk again.

The benefit of rehabilitation robotics can be found also when solving secondary complications connected to the spinal cord injury. Most of these positive effects can be associated with the fact that during a robotic device therapy, the patient is in upright position, which may be an undoubtedly rare moment in such patients' lives. Influencing functions of musculoskeletal system and also activity of internal organs can certainly lead to a better quality of life.

Therapeutical effect of RAGT can be even enhanced with adding auxiliary methods to the training. For example, virtual reality, functional electrical stimulation or

non-invasive brain stimulation could be all good choices. Especially virtual reality combined with game applications have been proven to raise both childrens' and adults' level of motivation to succeed and walk again.

9 Referenční seznam

- Adams, M. M., & Hicks, A. L. (2013). Comparison of the effects of body-weight-supported treadmill training and tilt-table standing on spasticity in individuals with chronic spinal cord injury. *The Journal of Spinal Cord Medicine*, 34(5), 488–494. doi: 10.1179/2045772311Y.0000000028.
- American Spinal Injury Association, (2000). *Standards for Neurological Classification of Spinal Injury Patients*.
- Araújo A., Neiva J., Monteiro C. & Magalhaes F. (2019). Efficacy of Virtual Reality Rehabilitation after Spinal Cord Injury: A Systematic Review: *BioMed Research International*, 2019, 1–15, doi: 10.1155/2019/7106951.
- Ashe, M., Craven, C., Eng, J., Krassioukov, A., & Krüger, J. (2007). Prevention and Treatment of Bone Loss After a Spinal Cord Injury: A Systematic Review. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation*, 13(1), 123–145. doi: 10.1310/sci1301–123.
- Asselin, P., Knezevic, S., Kornfeld, S., Cirnigliaro, C., Agranova-Breyter, I., Bauman, W. A., & Spungen, A. M. (2015). Heart rate and oxygen demand of powered exoskeleton-assisted walking in persons with paraplegia. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 52(2), 147–158. doi: 10.1682/JRRD.2014.02.0060.
- Baunsgaard, C., Nissen, U., Brust, A., Frotzler, A., Ribeill, C., Kalke, Y., León, N., Gómez, B., Samuelsson, K., Antepohl, W., Holmström, U., Marklund, N., Glott, T., Opheim, A., Penalva, J., Murillo, N., Nachtegaal, J., Faber, W., & Biering-Sørensen, F. (2018). Exoskeleton gait training after spinal cord injury: An exploratory study on secondary health conditions. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 50(9), 806–813. doi: 10.2340/16501977-2372.
- Behrman, A. L., Bowden, M. G., & Nair, P. M. (2006). Neuroplasticity After Spinal Cord Injury and Training: An Emerging Paradigm Shift in Rehabilitation and Walking Recovery. *Physical Therapy*, 86(10), 1406–1425. doi: 10.2522/ptj.20050212.
- Belci, M., Catley, M., Husain, M., Frankel, H. L., & Davey, N. J. (2004). Magnetic brain stimulation can improve clinical outcome in incomplete spinal cord injured patients. *Spinal Cord*, 42(7), 417–419. doi: 10.1038/sj.sc.3101613.
- Bogataj, U., Gros, N., Kljajić, M., Aćimović, R., & Maležič, M. (1995). The Rehabilitation of Gait in Patients With Hemiplegia: A Comparison Between

- Conventional Therapy and Multichannel Functional Electrical Stimulation Therapy. *Physical Therapy*, 75(6), 490–502. doi: 10.1093/ptj/75.6.490.
- Brütsch, K., Schuler, T., Koenig, A., Zimmerli, L., (Koencke), S. M., Lünenburger, L., Riener, R., Jäncke, L., & Meyer-Heim, A. (2010). Influence of virtual reality soccer game on walking performance in robotic assisted gait training for children. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 7(1), 1–9. doi: 10.1186/1743-0003-7-15.
- Calabrò, R. S., Filoni, S., Billeri, L., Balletta, T., Cannavò, A., Militi, A., Milardi, D., Pignolo, L., & Naro, A. (2020). Robotic Rehabilitation in Spinal Cord Injury: A Pilot Study on End-Effectors and Neurophysiological Outcomes. *Annals of Biomedical Engineering*, 49(2), 732-745. doi: 10.1007/s10439-020-02611-z.
- Cardenas, D. D., Bryce, T. N., Shem, K., Richards, J. S., Elhefni, H., Kalke, Y., León, N., Gómez, B., Samuelsson, K., Antepohl, W., Holmström, U., Marklund, N., Glott, T., Opheim, A., Penalva, J., Murillo, N., Nachtegaal, J., Faber, W., & Biering-Sørensen, F. (2004). Gender and minority differences in the pain experience of people with spinal cord injury: An exploratory study on secondary health conditions. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 85(11), 1774–1781. doi: 10.1016/j.apmr.2004.04.027.
- Chen, Y., Tang, Y., Vogel, L., & DeVivo, M. (2013). Causes of Spinal Cord Injury. Topics in *Spinal Cord Injury Rehabilitation*, 19(1), 1–8. doi: 10.1310/sci1901-1.
- Cheung, E. Y. Y., Yu, K. K. K., Kwan, R. L. C., Ng, C. K. M., Chau, R. M. W., & Cheing, G. L. Y. (2019). Effect of EMG-biofeedback robotic-assisted body weight supported treadmill training on walking ability and cardiopulmonary function on people with subacute spinal cord injuries – a randomized controlled trial. *BMC Neurology*, 19(1). doi: 10.1186/s12883-019-1361-z.
- Chi, B., Chau, B., Yeo, E., & Ta, P. (2019). Virtual reality for spinal cord injury-associated neuropathic pain: Systematic review. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 62(1), 49–57. doi: 10.1016/j.rehab.2018.09.006.
- Coleman, E. R., Moudgal, R., Lang, K., Hyacinth, H. I., Awosika, O. O., Kissela, B. M., & Feng, W. (2017). Early Rehabilitation After Stroke: a Narrative Review. *Current Atherosclerosis Reports*, 19(12). doi: 10.1007/s11883-017-0686-6.
- Contreras-Vidal, J. L., A Bhagat, N., Brantley, J., Cruz-Garza, J. G., He, Y., Manley, Q., Nakagome, S., Nathan, K., Tan, S. H., Zhu, F., & Pons, J. L. (2016). Powered exoskeletons for bipedal locomotion after spinal cord injury. *Journal of Neural Engineering*, 13(3). doi: 10.1088/1741-2560/13/3/031001.

- de Paz, R. H., Serrano-Muñoz, D., Pérez-Nombela, S., Bravo-Esteban, E., Avendaño-Coy, J., & Gómez-Soriano, J. (2019). Combining transcranial direct-current stimulation with gait training in patients with neurological disorders: a systematic review. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, *16*(1), 2297–2308. doi: 10.1186/s12984-019-0591-z.
- Díaz, I., Gil, J. J., & Sánchez, E. (2011). Lower-Limb Robotic Rehabilitation: Literature Review and Challenges. *Journal of Robotics*, *2011*(3+4), 1–11. doi: 10.1155/2011/759764.
- Dietz, V., Müller, R., Colombo, G. (2002). Locomotor activity in spinal man: significance of afferent input from joint and load receptors. *Brain*, *125*(12), 2626–2634. doi: 10.1093/brain/awf273.
- Dobkin, B. H. (2000). Spinal and supraspinal plasticity after incomplete spinal cord injury: Correlations between functional magnetic resonance imaging and engaged locomotor networks. *Neural Plasticity and Regeneration*, *2000*(128) 99–111. doi: 10.1016/S0079-6123(00)28010-2.
- Ehler, E., & Štětkářová, I. (2017). Diferenciální diagnostika míšních poruch. *Neurologie pro praxi*, *18*(6), 368-372.
- Esquenazi, A., Talaty, M., Packel, A., & Saulino, M. (2012). The ReWalk Powered Exoskeleton to Restore Ambulatory Function to Individuals with Thoracic-Level Motor-Complete Spinal Cord Injury. *The Journal of Spinal Cord Medicine*, *91*(11), 911–921. doi: 10.1097/PHM.0b013e318269d9a3.
- Evans, N., Hartigan, C., Kandilakis, C., Pharo, E., & Clesson, I. (2015). Acute Cardiorespiratory and Metabolic Responses During Exoskeleton-Assisted Walking Overground Among Persons with Chronic Spinal Cord Injury. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation*, *21*(2), 122–132. doi: 10.1310/sci2102–122.
- Fan, B., Wei, Z., Yao, X., Shi, G., Cheng, X., Zhou, X., Zhou, H., Ning, G., Kong, X., & Feng, S. (2018). Microenvironment Imbalance of Spinal Cord Injury. *Cell Transplantation*, *27*(6), 853–866. doi: 10.1177/0963689718755778.
- Field-Fote, E. C. (2001). Combined use of body weight support, functional electric stimulation, and treadmill training to improve walking ability in individuals with chronic incomplete spinal cord injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *82*(6), 818–824. doi: 10.1053/apmr.2001.23752.
- Food and Drug Administration (2013). *Evaluation of Automatic Class III Designation (De Novo) for ARGO ReWalk™*.

- Gassert, R. & Dietz, V. (2018). Rehabilitation robots for the treatment of sensorimotor deficits: a neurophysiological perspective. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 15(1), 168–172. doi: 10.1186/s12984-018-0383-x.
- Hagen, E. M. (2015). Acute complications of spinal cord injuries. *World Journal of Orthopedics*, 6(1). doi: 10.5312/wjo.v6.i1.17.
- Háková, R., & Kříž, J. (2015). Spinal Shock – from Pathophysiology to Clinical Manifestation. *Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie*, 78/111(3), 263-267. doi: 10.14735/amcsnn2015263.
- Hartigan, C., Kandilakis, C., Dalley, S., Clausen, M., Wilson, E., Morrison, S., Etheridge, S., & Farris, R. (2015). Mobility Outcomes Following Five Training Sessions with a Powered Exoskeleton. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation*, 21(2), 93–99. doi: 10.1310/sci2102-93.
- He, Y., Eguren, D., Luu, T. P., & Contreras-Vidal, J. L. (2017). Risk management and regulations for lower limb medical exoskeletons: a review. *Medical Devices: Evidence and Research*, 10, 89–107. doi: 10.2147/MDER.S107134.
- Hocoma AG, *Lokomat® User Script*.
- Hocoma AG, *Lokomat®Pro Brochure*.
- Hocoma AG (2016). *Relearning to Walk from the Begging*.
- Hong, E. K., Gorman, P. H., Forrest, G. F., Asselin, P. K., Knezevic, S., Scott, W., Wojciehowski, S. B., Kornfeld, S., & Spungen, A. M. (2020). Mobility Skills With Exoskeletal-Assisted Walking in Persons With SCI: Results From a Three Center Randomized Clinical Trial. *Frontiers in Robotics and AI*, 93(7). doi: 10.3389/frobt.2020.00093.
- Huang, Q., Yu, L., Gu, R., Zhou, Y., & Hu, C. (2015). Effects of robot training on bowel function in patients with spinal cord injury. *Journal of Physical Therapy Science*, 27(5), 1377–1378. doi: 10.1589/jpts.27.1377.
- Hurd, W., Pegram, V., Nepomuceno, C. (1980). Comparison of Actual and Simulated EMG Biofeedback in the Treatment of Hemiplegic Patients, *American Journal of Physical Medicine*, 59(2), 73–82.
- Galeiras Vázquez, R., Rascado Sedes, P., Mourelo Fariña, M., Montoto Marqués, A., & Ferreiro Velasco, M. E. (2013). Respiratory Management in the Patient with Spinal Cord Injury. *BioMed Research International*, 2013, 1–12. doi: 10.1155/2013/168757.

- Jackson, A., Carnel, C., Ditunno, J., Read, M. S., Boninger, M., Schmeler, M., Williams, S., & Donovan, W. (2016). Outcome Measures for Gait and Ambulation in the Spinal Cord Injury Population. *The Journal of Spinal Cord Medicine, 31*(5), 487–499. doi: 10.1080/10790268.2008.11753644.
- Jech, R. (2015). Klinické aspekty spasticity. *Neurologie pro praxi, 16*(1), 14–19.
- Juszczak, M., Gallo, E., & Bushnik, T. (2018). Examining the Effects of a Powered Exoskeleton on Quality of Life and Secondary Impairments in People Living With Spinal Cord Injury. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation, 24*(4), 336–342. doi: 10.1310/sci17-00055
- Kam, D. de, Rijken, H., Manintveld, T., Nienhuis, B., Dietz, V., & Duysens, J. (2013). Arm movements can increase leg muscle activity during submaximal recumbent stepping in neurologically intact individuals. *Journal of Applied Physiology, 115*(1), 34–42. doi: 10.1152/jappphysiol.00510.2012.
- Karelis, A., Carvalho, L., Castillo, M., Gagnon, D., & Aubertin-Leheudre, M. (2017). Effect on body composition and bone mineral density of walking with a robotic exoskeleton in adults with chronic spinal cord injury. *Journal of Rehabilitation Medicine, 49*(1), 84–87. doi: 10.2340/16501977-2173.
- Khan, A. S., Livingstone, D. C., Hurd, C. L., Duchcherer, J., Misiaszek, J. E., Gorassini, M. A., Manns, P. J., & Yang, J. F. (2019). Retraining walking over ground in a powered exoskeleton after spinal cord injury: a prospective cohort study to examine functional gains and neuroplasticity. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, 16*(1). doi: 10.1186/s12984-019-0585-x.
- Kobetic R., To C. S., Schnellenberger J. R., Audu M. L., Bulea T. C., Gaudio R., Pinault G., Tashman S., & Triolo R. J. (2009). Development of hybrid orthosis for standing, walking, and stair climbing after spinal cord injury. *Journal of Rehabilitation Research & Development, 46*(3), 447– 62. PMID: 19675995.
- Kozlowski, A., Bryce, T., & Dijkers, M. (2015). Time and Effort Required by Persons with Spinal Cord Injury to Learn to Use a Powered Exoskeleton for Assisted Walking. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation, 21*(2), 110–121. doi: 10.1310/sci2102-110.
- Kressler, J., Thomas, C. K., Field-Fote, E. C., Sanchez, J., Widerström-Noga, E., Cilien, D. C., Gant, K., Ginnety, K., Gonzalez, H., Martinez, A., Anderson, K. D., & Nash, M. S. (2014). Understanding Therapeutic Benefits of Overground Bionic Ambulation: Exploratory Case Series in Persons With Chronic, Complete Spinal

- Cord Injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 95(10), 1878–1887.e4. doi: 10.1016/j.apmr.2014.04.026.
- Kolakowsky-Hayner, S. A., Crew, J., Moran, S., & Shah, A. (2013). Safety and Feasibility of using the EksoTM Bionic Exoskeleton to Aid Ambulation after Spinal Cord Injury. *Journal of Spine*, 4(3), 1–6. doi: 10.4172/2165-7939.S4-003.
- Kříž, J. (2019). *Poranění míchy: příčiny, důsledky, organizace péče*. Galén.
- Kříž, J., & Hlinková, Z. (2016). Neurorehabilitace senzomotorických funkcí po poranění míchy. *Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie*, 79/112(4), 378–394.
- Kříž, J., & Faltýnková, Z. (2013). Léčba a rehabilitace pacientů s míšní lézí, příručka pro praktické lékaře.
- Kříž, J., & Hyšperská, V. (2009). Rizikové stavy u pacientů v chronické fázi po poškození míchy. *Neurologie pro praxi*, 10(3), 137–142.
- Kříž, J., & Hyšperská, V. (2014). Vývoj neurologického a funkčního obrazu po poranění míchy. *Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie* 77/110(2), 186–195.
- Kříž, J., & Chvostová, Š. (2009). Vyšetřovací a rehabilitační postupy u pacientů s míšní lézí. *Neurologie pro praxi*, 10(3), 143-147.
- Kříž, J., Káfuňková, P., Schreier, B., & Kolář, P. (2010). Trénink lokomoce v závěsu u pacientů po poranění míchy. *Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie*, 73/106(2), 124–130.
- Kříž, J., & Rejchrt, M. (2014). Autonomní dysreflexie – závažná komplikace u pacientů po poranění míchy. *Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie*, 77/110(2), 168-173.
- Kumru, H., Benito-Penalva, J., Valls-Sole, J., Murillo, N., Tormos, J. M., Flores, C., Vidal, J., Masakado, Y., & Liu, M. (2016). Placebo-controlled study of rTMS combined with Lokomat® gait training for treatment in subjects with motor incomplete spinal cord injury: a systematic review. *Experimental Brain Research*, 234(12), 3447–3455. doi: 10.1007/s00221-016-4739-9.
- Lam, T., Noonan, V. K., & Eng, J. J. (2008). A systematic review of functional ambulation outcome measures in spinal cord injury. *Spinal Cord*, 46(4), 246–254. doi: 10.1038/sj.sc.3102134.
- Maimoun, L., Fattal, C., Micallef, J. -P., Peruchon, E., & Rabischong, P. (2006). Bone loss in spinal cord-injured patients: from physiopathology to therapy. *Spinal Cord*, 44(4), 203–210. doi: 10.1038/sj.sc.3101832.

- Meng, L., Porr, B., Macleod, C. A., Gollee, H., & Meyer-Heim, A. (2017). A functional electrical stimulation system for human walking inspired by reflexive control principles: *A surface electromyography study. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 231(4), 315–325. doi: 10.1177/0954411917693879.
- Miguel-Rubio, A. D., Rubio, M. D., Salazar, A., Moral-Munoz, J. A., Requena, F., Camacho, R., & Lucena-Anton, D. (2020). Is Virtual Reality Effective for Balance Recovery in Patients with Spinal Cord Injury? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Clinical Medicine*, 9(9), 1–12. doi: 10.3390/jcm9092861.
- Mekki, M., Delgado, A. D., Fry, A., Putrino, D., & Huang, V. (2018). Robotic Rehabilitation and Spinal Cord Injury: a Narrative Review. *Neurotherapeutics*, 15(3), 604–617. doi: 10.1007/s13311-018-0642-3.
- Miller, L. E., & Herbert, W. (2016). Health and economic benefits of physical activity for patients with spinal cord injury. *ClinicoEconomics and Outcomes Research*, 8, 551–558. doi: 10.2147/CEOR.S115103.
- Miller, L., Zimmermann, A., & Herbert, W. (2016). Clinical effectiveness and safety of powered exoskeleton-assisted walking in patients with spinal cord injury: systematic review with meta-analysis. *Medical Devices: Evidence and Research*, 2016(9), 455–466. doi: 10.2147/MDER.S103102.
- Morawietz, C., Moffat, F., & Hofmann, M. (2013). Effects of Locomotor Training After Incomplete Spinal Cord Injury: A Systematic Review. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 94(11), 2297–2308. doi: 10.1016/j.apmr.2013.06.023.
- Miller, L. E., & Herbert, W. (2016). Health and economic benefits of physical activity for patients with spinal cord injury. *ClinicoEconomics and Outcomes Research*, 8, 551–558. doi: 10.2147/CEOR.S115103.
- Murray, L. M., Edwards, D. J., Ruffini, G., Labar, D., Stampas, A., Pascual-Leone, A., & Cortes, M. (2015). Intensity Dependent Effects of Transcranial Direct Current Stimulation on Corticospinal Excitability in Chronic Spinal Cord Injury: a systematic review. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 96(4), 114–121. doi: 10.1016/j.apmr.2014.11.004.
- Murtagh J. (2015). Rewalk: Robotic Exoskeletons for Spinal Cord Injury. *Ottawa: CADTH, issues in emerging new technologies*, 2015(141).

- Myers, J., Lee, M., & Kiratli, J. (2007). Cardiovascular Disease in Spinal Cord Injury, *American Journal of Medicine & Rehabilitation* 86(2), 142–152. doi: 10.1097/PHM.0b013e31802f0247.
- Náhlovský, J. (2006). *Neurochirurgie*. Praha, Czech Republic: Galén.
- Novotná, K., Jeníček, J., Janatová, M., Kubala Havrdová, E., & Angerová, Y. (2019). Neurorehabilitation of gait impairment using functional electrical stimulation – current findings from randomized clinical trials: A surface electromyography study. *Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie*, 82/115(6), 621–626. doi: 10.14735/amcsnn2019621.
- Oneal, B. J., Patterson, D. R., Soltani, M., Teeley, A., & Jensen, M. P. (2008). Virtual Reality Hypnosis in the Treatment of Chronic Neuropathic Pain: A Case Report: Systematic review. *International Journal of Clinical and Experimental Hypnosis*, 56(4), 451–462. doi: 10.1080/00207140802255534.
- Palermo, A. E., Maher, J. L., Baunsgaard, C. B., & Nash, M. S. (2017). Clinician-Focused Overview of Bionic Exoskeleton Use After Spinal Cord Injury. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation*, 23(3), 234–244. doi: 10.1310/sci2303-234.
- Pinto, D., Garnier, M., Barbas, J., Chang, S. -H., Charlifue, S., Field-Fote, E., Furbish, C., Tefertiller, C., Mummidisetty, C. K., Taylor, H., Jayaraman, A., & Heinemann, A. W. (2020). Budget impact analysis of robotic exoskeleton use for locomotor training following spinal cord injury in four SCI Model Systems. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 17(1). doi: 10.1186/s12984-019-0639-0.
- Poncumhak, P., Saengsuwan, J., Kamruecha, W., & Amatachaya, S. (2013). Reliability and validity of three functional tests in ambulatory patients with spinal cord injury. *Spinal Cord*, 51(3), 214–217. doi: 10.1038/sc.2012.126.
- Pupíková, M., Šimko, P., Brabenec, L., Rektorová, I., Avendaño-Coy, J., & Gómez-Soriano, J. (2018). Noninvasive brain stimulation in behavioral and cognitive neurology: a systematic review. *Neurologie pro praxi*, 19(6), 421–425. doi: 10.36290/neu.2018.132.
- ReWalk Robotics (2020). *Clinician Reference Sheet*.
- ReWalk Robotics (2019). *Discharge Plan*.
- Riener, R., Lünenburger, L., Maier, I., Colombo, G., & Dietz, V. (2010). Locomotor Training in Subjects with Sensori-Motor Deficits: An Overview of the Robotic Gait Orthosis Lokomat. *Journal of Healthcare Engineering*, 1(2), 197-216. doi: 10.1260/2040-2295.1.2.197.

- Shin, J. C., Yoo, J. H., Jung, T. -H., & Goo, H. R. (2011). Comparison of lower extremity motor score parameters for patients with motor incomplete spinal cord injury using gait parameters. *Spinal Cord*, *49*(4), 529–533. doi: 10.1038/sc.2010.158.
- Schicketmueller, A., Rose, G., & Hofmann, M. (2019). Feasibility of a Sensor-Based Gait Event Detection Algorithm for Triggering Functional Electrical Stimulation during Robot-Assisted Gait Training. *Sensors*, *19*(21), 818–824. doi: 10.3390/s19214804.
- Schmidt, H., Werner, C., Bernhardt, R., Hesse, S., & Krüger, J. (2007). Gait rehabilitation machines based on programmable footplates: Literature Review and Challenges. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, *4*(1), 1–11. doi: 10.1186/1743-0003-4-2.
- Schmitt, C., Métrailler, P., Al-Khodairy, A., Brodard, R., Fournier, J., Bouri, M., & Clavel, R. (2004). The Motion Maker™: a Rehabilitation System Combining an Orthosis with Closed-Loop Electrical Muscle Stimulation. *Proceedings of the 8th Vienna International Workshop on Functional Electrical Stimulation*. 117-120.
- Schuler, T., Brüttsch, K., Müller, R., van Hedel, H. J. A., & Meyer-Heim, A. (2011). Virtual realities as motivational tools for robotic assisted gait training in children: A surface electromyography study. *NeuroRehabilitation*, *28*(4), 401–411. doi: 10.3233/NRE-2011-0670.
- Simis, M., Uygur-Kucukseymen, E., Pacheco-Barrios, K., Battistella, L. R., & Fregni, F. (2020). Beta-band oscillations as a biomarker of gait recovery in spinal cord injury patients: A quantitative electroencephalography analysis. *Clinical Neurophysiology*, *131*(8), 1806–1814. doi: 10.1016/j.clinph.2020.04.166.
- Sköld, C., Levi, R., Seiger, Å., Murillo, N., Tormos, J. M., Flores, C., Vidal, J., Masakado, Y., & Liu, M. (1999). Spasticity after traumatic spinal cord injury: Nature, severity, and location. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *80*(12), 1548–1557. doi: 10.1016/S0003-9993(99)90329-5.
- Stagg, C. J., Nitsche, M. A., Tsai, Y. -A., Tang, S. -C., Kawakami, M., Mizuno, K., Kodama, M., Masakado, Y., & Liu, M. (2011). Physiological Basis of Transcranial Direct Current Stimulation: a systematic review. *The Neuroscientist*, *17*(1), 37–53. doi: 10.1177/1073858410386614.
- Štětkářová, I., Ehler, E., Jech, R. (2012). *Spasticita a její léčba*. Praha: Maxdorf. Jessenius.
- Šámal, F., Ouzký, M., & Haninec, P. (2017). Spinal cord lesions from neurosurgical perspective. *Neurologie pro praxi*, *18*(6), 386-388. doi: 10.36290/neu.2017.115.

- Thomas, S. L., & Gorassini, M. A. (2005). Increases in Corticospinal Tract Function by Treadmill Training After Incomplete Spinal Cord Injury. *Journal of Neurophysiology*, *94*(4), 2844–2855. doi: 10.1152/jn.00532.2005.
- Turner, D. L., Ramos-Murguialday, A., Birbaumer, N., Hoffmann, U., & Luft, A. (2013). Neurophysiology of Robot-Mediated Training and Therapy: A Perspective for Future Use in Clinical Populations. *Frontiers in Neurology*, *184*(4). doi: 10.3389/fneur.2013.00184.
- van Dijsseldonk, R. B., van Nes, I. J. W., Geurts, A. C. H., & Keijsers, N. L. W. (2020). Exoskeleton home and community use in people with complete spinal cord injury. *Scientific Reports*, *10*(1). doi: 10.1038/s41598-020-72397-6.
- van Hedel, H. J. A., Dietz, V., & Curt, A. (2007). Assessment of Walking Speed and Distance in Subjects With an Incomplete Spinal Cord Injury. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, *21*(4), 295–301. doi: 10.1177/1545968306297861.
- Vařeka, I., Bednář, M., & Vařeková, R. (2016). Robotická rehabilitace chůze. *Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie*, *79*/112(2), 168–172.
- Vítečková, S., Jiřina, M., & Krupička, R. (2011). Exoskelety a aktivní ortézy dolních končetin: přehled. *Pohybové ústrojí*, *18*(3+4), 34–46.
- Wannapakhe, J., Arayawichanon, P., Saengsuwan, J., & Amatachaya, S. (2014). Changes of Functional Ability in Patients With Spinal Cord Injury With and Without Falls During 6 Months After Discharge. *Physical Therapy*, *94*(5), 675–681. doi: 10.2522/ptj.20130260.
- Wessels, M., Lucas, C., Eriks, I., & de Groot, S. (2010). Body weight-supported gait training for restoration of walking in people with an incomplete spinal cord injury: a systematic review. *Journal of Rehabilitation Medicine*, *42*(6), 513–519. doi: 10.2340/16501977-0525.
- Yamaguchi, T., Fujiwara, T., Tsai, Y. -A., Tang, S. -C., Kawakami, M., Mizuno, K., Kodama, M., Masakado, Y., & Liu, M. (2016). The effects of anodal transcranial direct current stimulation and patterned electrical stimulation on spinal inhibitory interneurons and motor function in patients with spinal cord injury: a systematic review. *Experimental Brain Research*, *234*(6), 1469–1478. doi: 10.1007/s00221-016-4561-4.
- Yates, A. (2020). Advanced integration of virtual reality into physical therapy. *NeuroRehab VR*.

- Yeo E., Chau B., Chi B., Ruckle D. E. & Ta P. (2019). Virtual Reality Neurorehabilitation for Mobility in Spinal Cord Injury: A Structured Review. *Innovations in Clinical Neuroscience*, 16(1–2), 13–20.
- Zabukovec, J. R., Boyd, L. A., Linsdell, M. A., & Lam, T. (2013). Changes in corticospinal excitability following adaptive modification to human walking. *Experimental Brain Research*, 226(4), 557–564. doi: 10.1007/s00221-013-3468-6.
- Zeilig G., Weingarden H., Zwecker M., Dudkiewicz I., Bloch A., Esquenazi A. (2013). Safety and tolerance of the ReWalk™ exoskeleton suit for ambulation by people with complete spinal cord injury: A pilot study. *The Journal of Spinal Cord Medicine*, 35(2), 96–101. doi: 10.1179/2045772312Y.0000000003.
- Zimmerli, L., Jacky, M., Lünenburger, L., Riener, R., & Bolliger, M. (2013). Increasing Patient Engagement During Virtual Reality-Based Motor Rehabilitation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 94(9), 1737–1746. doi: 10.1016/j.apmr.2013.01.029.
- Zörner, B., Blanckenhorn, W. U., Dietz, V., & Curt, A. (2010). Clinical Algorithm for Improved Prediction of Ambulation and Patient Stratification after Incomplete Spinal Cord Injury. *Journal of Neurotrauma*, 27(1), 241–252. doi: 10.1089/neu.2009.0901.

10 Přílohy

Seznam Příloh

Příloha 1. Informovaný souhlas

Příloha 2. Potvrzení o korektuře abstraktu a souhrnu v anglickém jazyce

Příloha 1

Informovaný souhlas podepsaný vyšetřovanou pacientkou

Informovaný souhlas

Jméno: A. K.


Datum narození: 1952

1. Já níže podepsaný(á) souhlasím s mou účastí ve studii. Je mi více než 18 let.
2. Byl(a) jsem podrobně informován(a) o cíli studie, o jejích postupech, a o tom, co se ode mě očekává. Beru na vědomí, že prováděná studie je výzkumnou činností. Pokud je studie randomizována, beru na vědomí pravděpodobnost náhodného zařazení do jednotlivých skupin lišících se léčbou.
3. Porozuměl(a) jsem tomu, že svou účast ve studii mohu kdykoliv přerušit či odstoupit. Moje účast ve studii je dobrovolná.
4. Při zařazení do studie budou moje osobní data uchována s plnou ochranou důvěrnosti dle platných zákonů ČR. Je zaručena plná ochrana důvěrnosti mých osobních dat. Při vlastním provádění studie mohou být osobní údaje poskytnuty jiným než výše uvedeným subjektům pouze bez identifikačních údajů, tzn. anonymní data pod číselným kódem. Rovněž pro výzkumné a vědecké účely mohou být moje osobní údaje poskytnuty pouze bez identifikačních údajů nebo s mým výslovným souhlasem.
5. Porozuměl(a) jsem tomu, že mé jméno se nebude nikdy vyskytovat v referátech o této studii. Já naopak nebudu proti použití výsledků z této studie.

Podpis účastníka:



Podpis pověřeného autora:



Příloha 2

Potvrzení o korektuře abstraktu a souhrnu v anglickém jazyce


Mgr. Alena Kašpárková, Ph.D.

Přerovecká 305/49A
747 95 Opava - Suché Lazce
IČO: 67344178

Potvrzení o jazykové korektuře

Tímto potvrzuji, že jsem provedla v anglické verzi abstraktu a shrnutí BP Adama Kašpárka jazykovou korekturu.

V Opavě, 23.4.2021


Mgr. Alena Kašpárková
Přerovecká 305/49a
74795 OPAVA-Suché Lazce
IČO:67344178