

# THE OPTIONS IN ROBOTIC CONTROL OF REHABILITATING PATIENT'S LOWER LIMBS

**Karel Vošahlík<sup>1</sup>, Jan Hošek<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Ústav přístrojové a řídicí techniky, Fakulta strojní, ČVUT v Praze, karel.vosahlik@fs.cvut.cz

<sup>2</sup> Ústav přístrojové a řídicí techniky, Fakulta strojní, ČVUT v Praze, jan.hosek@fs.cvut.cz

*Abstrakt: V současné době se neustále rozšiřuje využití robotizace ve všech oblastech včetně zdravotnictví. Zdravotnictví má však velké množství oblastí, ve kterých se robotika využívá nebo ji lze využívat. Návrh nových rehabilitačních přístrojů a pomůcek musí vycházet ze znalostí anatomie a fyziologie pohybu jednotlivých částí lidského těla v kombinaci s vhodnou analýzou pohybu jednotlivých rehabilitačních metod. Tento článek analyzuje fyziologické pohyby při vybraných rehabilitačních metodách a navrhuje možnosti jejich realizace pomocí robotických zařízení.*

*Klíčová slova: léčebná rehabilitace, robotizace, konstrukce*

*Abstract: The use of robotics is currently expanding in all spheres including healthcare. There are many fields of healthcare, where robotics is being or can be used. A design of new rehabilitation devices and aids has to come out from the knowledge of anatomy and physiology of specific body-part movements combined with proper analysis of body movements in particular rehabilitation methods. This article analyses physiological movements in selected rehabilitation methods focused on lower limbs rehabilitation. It also proposes options for realization proprioceptive neuromuscular facilitation by using robotic devices.*

*Keywords: therapeutical rehabilitation, Robotization, Construction*

## 1 Úvod

Lidská populace je vystavována různému onemocnění či úrazům. Zaměříme-li se na skupiny neurologického nebo ortopedického onemocnění, lze uvést například: cévní mozková příhoda, dětská mozková obrna, roztroušená skleróza, paraplegie, centrální i periferní parézy, ataxie, skoliózy, svalové poruchy, kloubní poruchy, pooperační stavy.

Léčba pacientů je fyzicky náročná pro samotné pacienty a také pro fyzioterapeuty. Při některých léčebných rehabilitačních metodách cvičí pacient aktivně dle instrukcí získaných od fyzioterapeuta. Při jiných léčebných rehabilitačních metodách provádí fyzioterapeut danou techniku a pacient se podílí aktivním či pasivním způsobem. Jsou však onemocnění či úrazy, při kterých má pacient značně poškozen pohybový aparát a léčba takových pacientů vyžaduje asistenci dvou až tří fyzioterapeutů. Nejčastěji tomu tak je při trénování chůze, kdy dva fyzioterapeuti vedou dolní končetiny a třetí fyzioterapeut přidržuje pacienta.

Nemocniční a rehabilitační zařízení lze rozdělit do pěti základních skupin. Do první skupiny lze zahrnout lůžka pro neodkladnou lékařskou péči. Tato lůžka jsou používána v nemocničních zařízeních například na oddělení centrálního příjmu, nebo na odděleních operačních sálů. Druhou skupinu tvoří standardní nemocniční lůžka pro následnou péči, která jsou umístována na lůžková oddělení nemocničních zařízení. Na lůžkových odděleních jsou pacienti léčeni po chirurgických zákrocích, ale také je zde prováděna léčebná rehabilitace nevyžadující speciální vybavení či velký prostor.

Třetí skupinu tvoří speciální rehabilitační lůžka. Tato lůžka jsou navržena za účelem postupného zatížení pohybového aparátu pacienta pomocí vertikalizace cvičení chůze. Zaměříme-li se na obor léčebné rehabilitace, je jedním ze zástupců lůžko ErigoPro od firmy Hocoma [1]. Toto lůžko má nastavitelnou výšku ložné plochy. U tohoto lůžka lze ložnou plochu vertikalizovat až do úhlu 90°. Lůžko ErigoPro je již vybaveno robotickým systémem, kterým je řízen pohyb dolních končetin. Noha pacienta je upevněna pomocí popruhů ke stupátku v oblasti kotníku. Dolní končetina je připevněna k pohonným jednotkám v oblasti stehna pomocí manžet. Pohyb dolní končetiny je tedy vyvolán působením pohonné jednotky ve stehenní oblasti dolní končetiny, čímž je aktivně vyvolána flexe a extenze v

kyčelním kloubu. Pohyb v kolenním kloubu, v hlezenním kloubu a klouben nohy je pasivní. Léčbu na tomto lůžku lze doplnit systémem řízené funkční elektrostimulace. Celá léčebná terapie je ovládána pomocí ovládacího panelu s intuitivním uživatelským rozhraním.

Druhým speciálním lůžkem je lůžko BTS Anymov od firmy BTS Bioengineering [2]. Oproti lůžku ErigoPro má toto lůžko plnohodnotnou ložnou plochu, složenou z několika segmentů, která je taktéž výškově nastavitelná. Hlavový a hrudní díl lze polohovat až do úhlu  $75^\circ$ . Segment pro dolní končetiny je polohovatelný v rozmezí úhlu  $0^\circ$ - $35^\circ$ . Ložnou plochu lze nastavit do Trendelenburgerovy polohy a dále ji lze polohovat laterálními náklony. Lůžko je vybaveno robotickými ortézami, které řídí pohyb dolních končetin. Simulaci chůze pomocí robotických ortéz lze provádět taktéž při vertikalizované ložné ploše. Stejně jako u lůžka ErigoPro může být i lůžko BTS Anymov vybaveno modulem zajišťující řízenou elektrostimulaci. Ovládání lůžka je zajištěno dotykovým ovládacím panelem.

Další skupinu tvoří rehabilitační roboty, kteří se využívají k postupnému zatěžování pohybovému aparátu a cvičení chůze pacienta. Jako příklad rehabilitačního robota lze uvést Lokomat od firmy Hocoma [3]. Pacient je zavěšen do nosného postroje, kterým je nastavována zátěž na pohybový aparát a pacient cvičí chůzi na pohyblivé ploše [4].

Poslední skupinu exoskelety. Jejich využití je u pacientů, kteří mají oslabený pohybový aparát. Exoskelet pacientovi dopomáhá při chůzi a pacient se může lépe pohybovat po prostoru [5],[6].

Z popsaných speciálních rehabilitačních lůžek, rehabilitačních robotů a exoskeletů je patrné, že se konstrukce robotického systému liší. Speciální rehabilitační lůžka jsou vybavena pouze robotickými ortézami. Rehabilitační roboty jsou tvořeny závěsným systémem pro pacienta, robotickými ortézami a pohyblivou plošinou. Exoskelety jsou robotické ortézy s vlastním zdrojem energie a jsou určeny pro pacienty, kteří se mohou pohybovat mimo lůžko. Já jsem se zaměřil na speciální rehabilitační lůžka jsou navržena za účelem simulace chůze, čehož využívá léčebná rehabilitační metoda propioceptivní neuromuskulární facilitace. Lůžka však provádí nepřesný pohyb dolních končetin při chůzi, neboť tyto mechanismy nevykonávají rotaci v kyčelním kloubu. Cílem tohoto příspěvku je navržení mechanismu, splňujícího požadavky metody propioceptivní neuromuskulární facilitace a tím jsou rotace v dolních končetinách.

## 2 Léčebná rehabilitace pacientů

S pacienty majícími funkční poruchy pohybového aparátu se setkávají lékaři mnoha oborů. Jedná se zejména o obory neurologie, ortopedie, neurochirurgie a fyzioterapie. Při léčebné rehabilitaci pacientů se provádějí různé léčebné rehabilitační metody. Z těchto metod lze jmenovat například Vojtova metoda, metodika senzomotorické stimulace a metoda propioceptivní neuromuskulární facilitace.

Vojtova metoda je diagnostický a terapeutický systém [7]. V určitých výchozích polohách se v přesně vymezených oblastech těla provádí manuální aplikace tlaku na takzvané spouštěvé zóny sloužící k vyvolání automatických lokomočních pohybů označených jako reflexní plazení a otáčení. Reflexní lokomoci lze aktivovat ze tří základních poloh: poloha vleže na břiše, na zádech a v kleče.

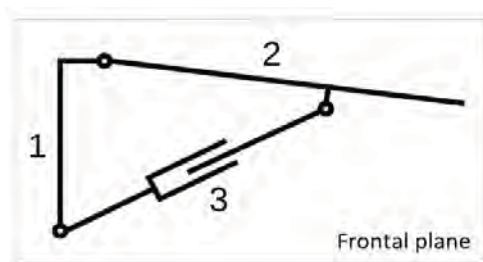
Metodika senzomotorické stimulace byla nejprve využívána pro terapii nestabilního kolene a kotníku. Později se začala používat při terapii funkčních poruch pohybového aparátu. Technika zahrnuje soustavu balančních cviků prováděných v různých posturálních polohách. Cviky prováděné ve vertikále jsou z celé metodiky nejdůležitější. V metodice se klade důraz na facilitaci pohybu chodidla. Metodika pracuje se dvoustupňovým modelem motorického učení [8].

Metoda propioceptivní neuromuskulární facilitace (PNF) vychází ze základního neurofyziologického mechanismu. Základním pohybovým kamenem metody PNF jsou pohybové vzorce, které jsou vedeny diagonálním směrem vždy se současnou rotací. Pro každou část těla jsou určeny dvě diagonály. Každá diagonála je tvořena dvěma vzorci, který má každý hlavní flekční nebo extenční komponentu. Pohyby ve směru těchto úhlopříček obsahují vždy tři pohybové složky v různých kombinacích: flexi nebo extenzi, abdukcii nebo addukci, zevní nebo vnitřní rotaci [9],[10].

Využití robotického řízení pohybu u Vojtovy metody není vhodné, neboť tato metoda je prováděna na rehabilitačním lůžku nazývaném Vojtův stůl. Velikost ložné plochy tohoto lůžka je větší vzhledem k polohování pacienta. Fyzioterapeut zapoložuje pacienta a následně působí tlakem na spouštěvé zóny až do chvíle, kdy uvidí reakci pacienta. Pomocí robotického zařízení by bylo náročné už jen samotné uvedení pacienta do jedné z poloh. Dále robotické působením tlakem na spouštěvé zóny a následné pozorování reakce je zcela nevhodné. Robotické řízení je možné využít v metodice senzomotorické stimulaci dolní končetiny, kdy lze robotickým řízením nahradit pohyby, které jsou umožňovány na kruhovém nebo válcovém segmentu. PNF se vyznačuje složitým pohybem, neboť v rámci jedné diagonály dochází k pohybu ve více kloubech současně. V současné době jsou již vyráběna lůžka a rehabilitační zařízení využívající metodu PNF, ale jejich roboticky řešený pohyb je nepřesný. Cílem článku je tedy uvést takové konstrukční řešení robotického systému, které odstraňuje nedostatky v léčebné metodě PNF.

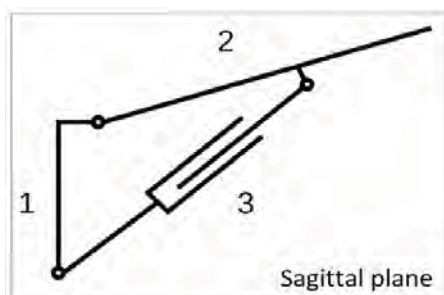
### 3 Řešení

Konstrukční řešení robotického systému, které zde bude uvedeno, je určeno pro speciální rehabilitační lůžka. První část robotického systému se nachází v oblasti kyčelního kloubu. Kyčelní kloub umožňuje abdukci a addukci, flexi a extenzi, vnější a vnitřní rotaci. Mechanismus provádějící abdukci a addukci (Obr. 1). Tento mechanismus je tvořen rámem lůžka (pozice 1), otočným ramenem (pozice 2) a lineárním aktuátorem (pozice 3). Změnou délky lineárního aktuátoru je prováděna abdukce a addukce dolní končetiny.



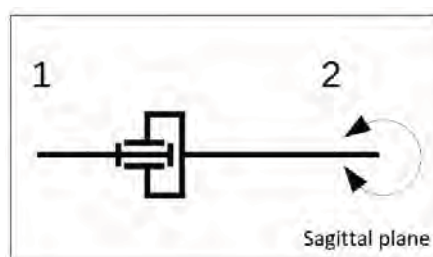
Obr. 1. Mechanismus abdukce a addukce kyčelního kloubu pravé dolní končetiny

Mechanismus vykonávající flexi a extenzi kyčelního kloubu je tvořen konzolou (pozice 1) upevněnou k otočnému ramenu mechanismu provádějícího abdukci a addukci dolní končetiny, držákem (pozice 2) a lineárním aktuátorem (pozice 3), který změnou své délky zajistí flexi či extenzi kyčelního kloubu (Obr. 2). Lineární aktuátory k vyvolání pohybu flexe-extenze či abdukce-addukce používají lůžka ErigoPro [1] a BTS Anymov [2].



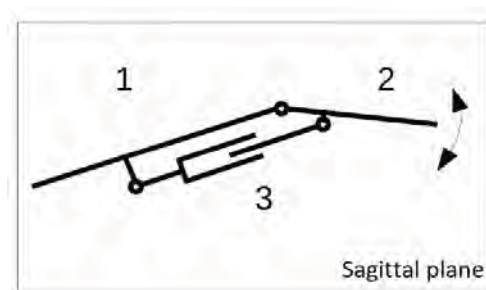
Obr. 2. Mechanismus flexe a extenze kyčelního kloubu dolní končetiny

Poslední možný pohyb v kyčelním kloubu je vnější a vnitřní rotace. Tento pohyb je velmi často opomíjen, i když rotace je velmi důležitým pohybem v metodě PNF. Konstrukce mechanismu pro rotaci dolní končetiny je však složitější s ohledem na uspořádání a rozdělení mechanismu v oblasti stehna dolní končetiny (Obr. 3). Další komplikací při řešení rotace dolní končetiny je skutečnost, že ve virtuální ose rotace se nachází dolní končetina pacienta. Mechanismus tvoří držák (pozice 1, Obr.2 – pozice 2), na kterém je upevněn krokový motor či servomotor. Konec hřídele je osazen pastorkem (ozubeným kolem), který je v záběru s ozubením na obloukovém vedení. Obloukové vedení je upevněno k sestavě obsahující podložku stehna dolní končetiny. Spojení držáku a sestavy s podložky stehna je dosaženo pomocí kladek, které zajišťují polohu obloukového vedení a jeho valivý pohyb.



Obr. 3. Mechanismus vnější a vnitřní rotace kyčelního kloubu dolní končetiny

Druhým kloubem, ve kterém je robotickým systémem prováděn pohyb, je koleno. Základním pohybem kolenního kloubu je flexe a extenze. Kolenní kloub však poskytuje i jistou možnost rotace, ale jen při současné flexi. Robotický systém (Obr. 4) pro kolenní kloub je tvořen sestavou pro oblast stehna (pozice 1), sestavou pro oblast bérce (pozice 2) a lineárním aktuátorem (pozice 3). Při změně délky lineárního aktuátoru je prováděna flexe či extenze kolenního kloubu.



Obr. 4. Mechanismus flexe a extenze kolene dolní končetiny

Pohyb v hlezenním kloubu a kloubech nohy je poměrně složitý. Vykonyvané pohyby jsou flexe a extenze, pronace a supinace, everze a inverze. Mechanismus vykonávající flexi a extenzi je tvořen sestavou pro oblast bérce sestavou pro oblast nohy a lineárním aktuátorem. Pohyby everze, inverze, pronace a supinace jsou vytvořeny pomocí dvou krokových motorů nebo serv a dvou obloukových vedení s ozubením. Pohonné jednotky a přívodní kabely jsou umístěny na vnější a spodní straně robotických ortéz. Bezpečnost pacienta je zajištěna mechanicky i elektronicky.

#### 4 Diskuze

Uvedené mechanismy lze dále modifikovat. Například polohu obloukového vedení a polohu krokových motorů či serv jde vzájemně zaměnit. Dále lze lineární aktuátory zajišťující flexi a extenzi kyčelního kloubu, flexi a extenzi kolenního kloubu, flexi a extenzi hlezenního kloubu zaměnit za krokové motory či servomotory doplněných převodovkou. Zatížení lineárních aktuátorů vychází z polohy uchycení lineárních aktuátorů, hmotnosti mechanismu robotického systému a hmotnosti pacienta.

Jednotlivé léčebné rehabilitační metody se od sebe vzájemně liší prováděným pohybem a využitím kloubního rozsahu. Z tohoto důvodu je nutná znalost pohybů v anatomických rovinách a rozsahů jednotlivých kloubů [11], [12]. Každý pacient má jiný rozsah kloubů, a proto je nutné před zahájením léčebné rehabilitační metody provést vyšetření kloubních rozsahů lékařem či fyzioterapeutem.

#### 5 Závěr

V tomto článku jsou uvedeny různé typy lůžek a robotických zařízení používaných ve zdravotnictví a zejména v léčebné rehabilitaci. U současných konstrukcí bylo zjištěno, že uvedené speciální rehabilitační lůžka a rehabilitační roboty neprovádí rotaci dolních končetin, která je nezbytná při rehabilitační metodě PNF. V článku jsem navrhl konstrukční řešení, které pomocí robotického systému aktivně ovlivňuje pohyb v kloubech dolní končetiny včetně velmi důležité rotace v kyčelním kloubu. Navržený mechanismus dále poskytuje možnost prostorového pohybu dolních končetin, čímž lze realizovat diagonální pohyby dolních končetin dle metody PNF.

#### Poděkování

Práce byla podpořena grantem SGS17/176/OHK2/3T/12

#### Literatura

- [1] Hocoma Erigo, Hocoma. [online]. [cit. 22.5.2018]. Dostupné z: <https://www.hocoma.com/solutions/erigo>.
- [2] BTS Anymov, BTS Bioengineering. [online]. [cit. 22.5.2018]. Dostupné z: <http://www.btsbioengineering.com/bts-anymov>.
- [3] Hocoma Lokomat, Hocoma. [online]. [cit. 22.5.2018]. Dostupné z: <https://www.hocoma.com/solutions/lokomat>.
- [4] P.-Y. Cheng, P.-Y. Lai, Comparison of Exoskeleton Robots and End-Effector Robots on Training Methods and Gait Biomechanics, In: Intelligent Robotics and Applications, Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 258-266.

- [5] Ferris, D-P.: The exoskeletons are here. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation* 6(17), 1-3 (2009).
- [6] Diaz, I.: Lower-Limb Robotic Rehabilitation: Literature Review and Challenges. *Journal of Robotics* 2011(2011), 1-11 (2011).
- [7] Gajewska, E.: An attempt to explain the Vojta therapy mechanism of action using the surface polyelectromyography in healthy subjects: A pilot study. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, (2017).
- [8] Senzomotorika, *Medicina Ronnie*. [online]. [cit. 22.5.2018]. Dostupné z: <http://medicina.ronnie.cz/c-3839-senzomotorika-ii-uvod-zaklady.html>.
- [9] Surburg, P.R.: Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Techniques in Sports Medicine: A Reassessment. *Journal of Athletic Training* 32(1), 34-39 (1997).
- [10] Choi, Y-K.: The Effects of Taping Prior to PNF Treatment on Lower Extremity Proprioception of Hemiplegic Patients. *Journal of Physical Therapy Science* 25(9), 1119-1122 (2013).
- [11] Čihák, R., *Anatomie*, Grada, 2011, ISBN 978-80-247-3817-8.
- [12] Kolář, P et al.: *Rehabilitace v klinické praxi*, Galen, 2009, ISBN 978-80-7262-657-1.



**Selected article from**  
**Tento dokument byl publikován ve sborníku**

**Nové metody a postupy v oblasti přístrojové techniky,  
automatického řízení a informatiky 2018**  
**New Methods and Practices in the Instrumentation,  
Automatic Control and Informatics 2018**  
**28. 5. – 30. 5. 2018, Příbram - Podlesí**

**ISBN 978-80-01-06477-1**

**Web page of the original document:**  
<http://control.fs.cvut.cz/nmp>  
<http://iat.fs.cvut.cz/nmp/2018.pdf>

**Obsah čísla/individual articles:**  
<http://iat.fs.cvut.cz/nmp/2018/>