

Leoš Navrátil, Aleš Příhoda a kolektiv

Robotická rehabilitace





Leoš Navrátil, Aleš Příhoda a kolektiv

Robotická rehabilitace

Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude trestně stíháno.

Leoš Navrátil, Aleš Příhoda a kolektiv

Robotická rehabilitace

Editoři: prof. MUDr. Leoš Navrátil, CSc., MBA, dr. h. c., Ing. Aleš Příhoda

Autorský kolektiv: prof. MUDr. Ivan Dylevský, DrSc., Ing. Ondřej Gajdoš,
doc. Ing. Karel Hána, Ph.D., PhDr. Andrea Hašková,
PhDr. Kristýna Hoidekrová, Ph.D., Mgr. Václava Hušková, MUDr. Markéta Janatová,
Mgr. Jakub Katolický, prof. Dr. Med. Karsten Knobloch, FACS,
prof. MUDr. Leoš Navrátil, CSc., MBA, dr. h. c., MUDr. Tomáš Nedělka, Ph.D.,
Mgr. Jakub Pětioký, MBA, DiS., Ing. Aleš Příhoda, doc. Ing. Pavel Smrčka, Ph.D.,
Ing. Tomáš Svoboda, Mgr. Milada Luisa Šedivcová

Recenzenti: doc. MUDr. Petr Konečný, Ph.D., MBA, prof. Ing. Aleš Richter, CSc.

Vydání odborné knihy schválila Vědecká redakce nakladatelství Grada Publishing, a.s.

© Grada Publishing, a.s., 2022

Cover Design © Grada Publishing, a.s., 2022

Fotografii na obálku exkluzivně poskytla společnost Hocoma, AG.

Vydala Grada Publishing, a.s., U Průhonu 22, Praha 7

jako svou 8445. publikaci

Odpovědná redaktorka Mgr. Ivana Podmolíková

Sazba a zlom Karel Mikula

Počet stran 160

1. vydání, Praha 2022

Vytiskla TISKÁRNA PROTISK, s.r.o., České Budějovice

Knih byla vytvořena za podpory projektu SGS20/148/OHK4/2T/17.

Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků, což není zvláštním způsobem vyznačeno.

Postupy a příklady v této knize, rovněž tak informace o lécích, jejich formách, dávkování a aplikaci jsou sestaveny s nejlepším vědomím autorů. Z jejich praktického uplatnění však pro autory ani pro nakladatelství nevyplývají žádné právní důsledky.

ISBN 978-80-271-0116-0 (ePub)

ISBN 978-80-271-1801-4 (pdf)

ISBN 978-80-271-0665-3 (print)

Obsah

Autorský kolektiv	9
Úvodní slovo	13
O slově robot	15
Seznam použitých zkratek	16
1 Luddismus a robotická rehabilitace	18
Leoš Navrátil	18
1.1 Náhled do historie	18
1.2 Luddismus	22
1.3 Neoluddismus	23
1.4 Rozmach robotiky	23
1.4.1 Exoskelety	25
1.4.2 Robotické exoskelety	25
1.4.3 Robotika ve zdravotnictví	25
1.4.4 Robotické systémy v operačních oborech	26
1.5 Literární zdroje	27
2 Robotické systémy v rehabilitaci	28
Aleš Příhoda, Ondřej Gajdoš	28
2.1 Asistivní technologie	28
2.2 Klasifikace robotické rehabilitace	29
2.2.1 Systémy pro pohybovou terapii horních končetin	30
2.2.2 Systémy pro pohybovou terapii dolních končetin	30
2.3 Mechanizace léčebněrehabilitační péče	31
2.4 Výhody a nevýhody asistivních technologií	31
2.5 Financování a poskytování asistivních technologií	32
2.6 Literární zdroje	35
3 Motorické systémy a jejich řízení	36
Ivan Dylevský	36
3.1 Nervový systém – informační systém	36
3.1.1 Konektivita nervového systému, anatomické, chemické, preformované a kvantové dráhy	41
3.1.2 Morfogenetické předpoklady pohybu	47
3.1.3 Motorická paměť a pohybové vzorce	48
3.2 Základy synaptologie	52
3.2.1 Morfologie synapsí	52
3.2.2 Chemický přenos vzruchu	53
3.2.3 Synaptická plasticita	54
3.3 Somatomotorické systémy	55
3.3.1 Fyziologie motoriky	55
3.3.2 Jemná motorika	60
3.3.3 Hrubá motorika, posturální a lokomoční motorika	61

3.3.4	Archi-, paleo- a neocerebellum	65
3.3.5	Bazální ganglia	66
3.4	Řídicí systémy motoriky	67
3.4.1	Archemotorika, třetí motorický systém	67
3.4.2	Paleomotorika, mediální motorický systém	68
3.4.3	Neomotorika, laterální motorický systém	69
3.5	Literární zdroje	72
4	Neuroplasticita	
	Tomáš Nedělka, Karsten Knobloch, Jakub Katolický	73
4.1	Úvod	73
4.2	Funkční a strukturální neuroplasticita	74
4.3	Hebbská a homeostatická plasticita	75
4.4	Synaptická plasticita a proces učení	76
4.4.1	Krátkodobá potenciace (STP)	77
4.4.2	Dlouhodobá potenciace (LTP)	77
4.4.3	Dlouhodobá deprese (LTD)	85
4.5	Homeostatické procesy	87
4.6	Bolest a neuroplasticita	88
4.7	Neuroplasticita v kontextu strukturálního poškození CNS	89
4.7.1	Cévní mozková příhoda	89
4.7.2	Adaptace a funkční reorganizace	92
4.8	Rehabilitace založená na principech neuroplasticity	93
4.8.1	Aerobní aktivita a odporový trénink	93
4.8.2	Učení motorických a kognitivních dovedností	96
4.8.3	Robotická rehabilitace a neuroplasticita	97
4.9	Literární zdroje	97
5	Motorické učení	
	Václava Hušková, Aleš Příhoda	99
5.1	Proces motorického učení	99
5.2	Zrcadlové neurony a proces motorického učení	100
5.3	Modely motorického učení	100
5.4	Typy motorického učení	101
5.5	Vybrané faktory ovlivňující motorické učení a pohybový projev	101
5.6	Prvky využívané v procesu motorického učení	102
5.7	Zpětnovazební mechanismy využívané v robotické rehabilitaci	104
5.8	Možnosti terapie využívané v procesu motorického učení	104
5.9	Robotická asistovaná terapie v procesu motorického učení	105
5.10	Literární zdroje	105
6	Virtuální realita a vizualizace	
	Karel Hána, Pavel Smrčka, Markéta Janatová	107
6.1	Definice virtuální reality	107
6.2	Historie virtuální reality	108
6.3	Zpětnovazební princip	109
6.4	Stereoskopická projekce	111
6.5	Oblasti využití virtuální reality	112
6.6	Zpětnovazební interaktivní systémy v rehabilitaci	114

6.7	Literární zdroje	115
7	Využití robotických systémů v praxi	117
7.1	Využití robotických systémů v neurologii Kristýna Hoideková, Jakub Pětioký	117
7.1.1	Úvod	117
7.1.2	Uplatnění v praxi	117
7.1.3	Organizace neurorehabilitační péče	118
7.1.4	Současný stav neurorehabilitace v českém systému	120
7.1.5	Robotika v neurorehabilitační péči	120
7.1.6	Specifika robotiky – intenzita, periodicita a motivace	121
7.1.7	Doporučení pro praxi	122
7.1.8	Literární zdroje	122
7.2	Využití robotické rehabilitace u seniorů Milada Luisa Šedivcová	123
7.2.1	Přehled využitelných robotických systémů v geriatrii	123
7.2.2	Cíl využití robotických asistivních technologií	127
7.2.3	Doporučení pro praxi	127
7.2.4	Literární zdroje	128
7.3	Využití robotických systémů v pediatrii Andrea Hašková	129
7.3.1	Principy robotické rehabilitace v dětském věku	129
7.3.2	Robotické systémy pro nácvik lokomoce	133
7.3.3	Nácvik balančních schopností a přenosu váhy	134
7.3.4	Podpora používání horních končetin	134
7.3.5	Literární zdroje	135
7.4	Využití robotických systémů v ortopedii Tomáš Svoboda	136
7.4.1	Úvod	136
7.4.2	Indikace robotické rehabilitace v ortopedii	136
7.4.3	Přehled robotických systémů pro horní končetiny	137
7.4.4	Přehled robotických systémů pro dolní končetiny	138
7.4.5	Přístroje pro roboticky asistovaný nácvik chůze	138
7.4.6	Přístroje pro BWSTT (<i>body-weight supported treadmill training</i>)	139
7.4.7	Doporučení pro praxi	139
7.4.8	Literární zdroje	141
7.5	Využití robotických systémů ve sportovní medicíně Aleš Příhoda	141
7.5.1	Současný stav robotické rehabilitace ve sportovních klubech	141
7.5.2	Doporučení pro praxi	144
7.5.3	Literární zdroje	145
8	Telerehabilitace a distanční terapie	146
	Jakub Pětioký, Kristýna Hoideková	146
8.1	Úvod	146
8.2	Vývoj telerehabilitace a distanční terapie	147

8.3	Aplikace a další rozvoj telerehabilitace, distanční terapie a telemonitoringu v klinické praxi	150
8.4	Literární zdroje	152
Rejstřík		153
Souhrn		158
Summary		159

Autorský kolektiv



DYLEVSKÝ Ivan, prof., MUDr., DrSc.,

katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva Fakulty biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického v Praze, emeritní přednosta Anatomického ústavu 2. lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Praze



GAJDOŠ Ondřej, Ing.,

asistent katedry biomedicínské techniky Fakulty biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického v Praze, jednatel společnosti MeDeCorp, s. r. o.



HÁNA Karel, doc., Ing., Ph.D.,

vedoucí katedry informační a komunikační technologie v lékařství Fakulty biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického v Praze



HAŠKOVÁ Andrea, PhDr.,

externí vyučující katedry zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva Fakulty biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického v Praze, vedoucí fyzioterapeutka dětského rehabilitačního stacionáře Zvonek v Kladně



HOIDEKROVÁ Kristýna, PhDr., Ph.D.,

vedoucí vědeckovýzkumného týmu a ergoterapeutka Rehabilitačního ústavu Kladruby, externí vyučující na 1. lékařské fakultě Univerzity Karlovy v Praze



HUŠKOVÁ Václava, Mgr.,

asistentka katedry zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva
Fakulty biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení
technického v Praze



JANATOVÁ Markéta, MUDr.,

asistentka katedry informační a komunikační technologie v lékař-
ství Fakulty biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení
technického v Praze, vědecká pracovnice 1. lékařské fakulty Uni-
verzity Karlovy v Praze



KATOLICKÝ Jakub, Mgr.,

fyzioterapeut v Centru rehabilitace a neurologie MUDr. Nedělký
v Praze 6, Řepy



KNOBLOCH Karsten, prof., Dr. Med., FACS,

univerzitní profesor chirurgie ruky na Lékařské univerzitě v Ha-
nnoveru, člen výboru ISMST (International Society of Medical
Shockwave Therapy), lékařského týmu Bundesligy a německé olym-
pijské reprezentace



NAVRÁTIL Leoš, prof., MUDr., CSc., MBA, dr. h. c.,

katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva Fakulty bio-
medicínského inženýrství Českého vysokého učení technického
v Praze, přednosta kliniky THERAP TILIA Praha



NEDĚLKA Tomáš, MUDr., Ph.D.,

odborný asistent katedry zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva Fakulty biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického v Praze, Neurologická klinika 2. lékařské fakulty Univerzity Karlovy a Fakultní nemocnice Motol, Praha



PĚTIOKÝ Jakub, Mgr., MBA, DiS.,

náměstek pro rehabilitaci, vědu a výzkum, Rehabilitační ústav Kladruby, prezident České asociace robotiky, telemedicíny a kybernetiky (ARTAK)



PŘÍHODA Aleš, Ing.,

asistent, vedoucí Laboratoře robotické rehabilitace katedry zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva Fakulty biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického v Praze, fyzioterapeut kliniky THERAP TILIA Praha



SMRČKA Pavel, doc., Ing., Ph.D.,

zástupce vedoucího katedry informačních a komunikačních technologií v lékařství Fakulty biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického v Praze, specialista na výzkum, vývoj a konstrukci biotelemetrických systémů a aplikaci biokybernetiky v asistivních technologiích



SVOBODA Tomáš, Ing.,

katedra informační a komunikační technologie v lékařství Fakulty biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického v Praze, projektový manažer ve společnosti Advanced Medical Solutions, s. r. o.



ŠEDIVCOVÁ Milada Luisa, Mgr.,

asistentka kateder informační a komunikační technologie v lékařství a zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva Fakulty biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického v Praze, vědecká pracovnice Centra pro eHealth a telemedicínu 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Praze

***Autorský kolektiv věnuje tento text
100. výročí uvedení hry Karla Čapka R.U.R.
na divadelní scénu.***

Úvodní slovo

Motto:

„Roboti nejsou lidé. Jsou mechanicky dokonalejší než my, mají úžasnou rozumovou inteligenci, ale nemají duši. Výrobek inženýra je technicky vytríbenější než výrobek přírody.“

Karel Čapek

Považuji za velkou čest uvést krátkým zamyšlením tak záslužné dílo, jakým je monografie *Robotická rehabilitace* z pera kolektivu našich předních odborníků.

Vůbec není nemístné domnívat se, že Karel Čapek by tuto pozoruhodnou publikaci přečetl jedním dechem a vědecké kapacity by následně zahrnul doplňujícími dotazy. Podobně totiž postupoval v řadě jiných případů. Je třeba stále připomínat, že jeho vizionářská díla nebyla „vycucána z prstu“, vznikala totiž na podkladě soudobého stavu poznání v oboru přírodních i humanitních věd. Doktor filozofie Čapek ne z povinnosti, ale upřímného zájmu konzultoval zásadní teze i detaily dramát či románů s předními chemiky, lékaři a dalšími odborníky. Nechyběl mezi nimi ani Patrick M. S. Blackett, budoucí nositel Nobelovy ceny za fyziku. Ostatně knihovna Karla Čapka ve vinohradské vile obsahuje překvapivé množství odborných publikací na úkor beletrie.

Bytostně humanistický umělec navíc nezapřel, že vyrůstal v rodině lékaře. Ušlechtilé poslání medicíny upřímně ctil a obdivoval. Jistě by proto uvítal nesmírný pokrok dosažený právě na poli robotické rehabilitace.

Pro lepší pochopení souvislostí a kořenů motivace jeho zájmu o dané téma se prosím na chvíli vraťme do roku 1920. Pomalu doznívala pandemie španělské chřipky, již se nakazila přibližně třetina tehdejší světové populace. K desítkám milionů obětí patřili také slavní umělci. Třicetiletý Karel Čapek našťástí zůstal ušetřen, ač pro deformaci páteře a hrudního koše Bechtěrevovou nemocí obtížně dýchal pootevřenými ústy. Mimochodem v umělcově letním sídle ve Staré Huti u Dobříše se do dnešních dnů dochoval původní rehabilitační prostředek – křeslo se zvýšeným polohovatelným opěradlem.

V působišti svého otce, lázeňského lékaře v Trenčianských Teplicích, napsal Čapek zásadní divadelní hru *Rossum's Universal Robots*. Drama R.U.R. vyšlo knižně v listopadu 1920, divadelní premiéru slavilo v lednu 1921 a záhy se stalo světovou senzací. Téma umělých bytostí totiž pojímal zcela originálním způsobem. Tradici solitérů golema, Frankensteina a mechanických monster porušil Karel Čapek efektivní velkosériovou výrobou biochemických androidů „z chrchle koloidálního rosolu, který by ani pes nesežral“.

Hlavním úkolem cenově dostupných robotů bylo pomáhat pokud možno všem lidem, zbavit je dřiny a utrpení všeho druhu. Harry Domin, topmanažer fiktivní továrny R.U.R., se na scéně vyznává: „Chtěl jsem, aby se člověk stal pánem... aby žádná duše nepitoměla u cizích strojů... abychom z celého lidstva udělali aristokracii světa. Neomezené, svobodné a svrchované lidi.“ Robota, tedy nucená práce poddaných za feudalismu, dala vzniknout slovu robot: nesvéprávné umělé bytosti, předurčené ke službě lidem všech národů a společenských vrstev coby novodobé vrchnosti.

Slovo robot brzy zdomácnělo v řadě světových jazyků, zároveň se však vžila zcela jiná podoba umělých bytostí, než jakou měl Karel Čapek na mysli. V roce 1935 proto na svoji obranu napsal: „Autor robotů by považoval za vědecký nevкус, kdyby dal

oživnout mosazným kolečkům nebo vyrobit ve zkumavce život; podle jeho představy byl jenom vytvořen nový podklad, který se počal chovat jako živá hmota, a který se tedy mohl stát vehiklem života – ale života, který zůstává nesestrojitelným a nepochopitelným tajemstvím. Ten život se naplní teprve tehdy, když se (s vynaložením značné nepřesnosti a mystiky) roboti stanou dušemi. Z čehož je patrné, že autor nevymýšlel své roboty s technickou pýchou strojního inženýra, nýbrž s metafyzickou pokorou spiritualisty (...) Svět (však) potřeboval robotů mechanických, neboť věří ve stroje víc nežli v život; je víc fascinován technickými divy než zázrakem života.“

Přeji autorskému kolektivu i nám, čtenářům publikace *Robotická rehabilitace*, aby sofistikovaná zařízení v co největší míře pomáhala zmírňovat zdravotní obtíže pacientů a efektivně, přitom důstojnou formou jim usnadňovala návrat do plnohodnotného života!

Ing. Zdeněk Vacek, Ph.D.

ředitel Památníku Karla Čapka ve Staré Huti u Dobříše, p. o.

Stará Huť 120, 262 02 Stará Huť

www.capek-strz.cz

Kompletní text hry R.U.R. je zdarma a zcela legálně ke stažení na webových stránkách Městské knihovny v Praze: →
<https://search.mlp.cz/cz/titul/r-u-r/4299048/#/getPodobneTituly=deskriptory-eq:177240871-amp:key-eq:4299048>



O slově robot

Zmínka prof. Chudoby o tom, jak se podle svědectví Oxfordského slovníku ujalo slovo Robot a jeho odvozeniny v angličtině, mne upomíná na starý dluh. To slovo totiž nevymyslel autor hry RUR, nýbrž toliko je uvedl v život. Bylo to tak: v jedné nestřežené chvíli napadla řečeného autora látka na tu hru. I běžel s tím za tepla na svého bratra Josefa, malíře, který zrovna stál u štafle a maloval po plátně, až to šustělo.

„Ty, Josef,“ začal autor, „já bych měl myšlenku na hru.“

„Jakou,“ bručel malíř (opravdu bručel, neboť držel při tom v ústech štětec).

Autor mu to řekl tak stručně, jak to šlo.

„Tak to napiš,“ děl malíř, aniž vyndal štětec z úst a přestal natírat plátno. Bylo to až urážlivě lhostejně.

„Ale já nevím,“ řekl autor, „jak mám ty umělé dělníky nazvat. Řekl bych jim Laboři, ale připadá mně to nějak papírově.“

„Tak jim řekni Roboti,“ mumlal malíř se štětcem v ústech a maloval dál. A bylo to. Tím způsobem se tedy zrodilo slovo Robot: budiž tímto přiřčeno svému skutečnému původci.

Karel Čapek, Lidové noviny, Brno, 1933, 41, 644, ranní vydání, 12.
ISSN 1802-6265 (doslovný text)

Přesná definice robota neexistuje. Můžeme konstatovat, že se jedná o stroj, který vykonává naprogramované úkoly s určitou mírou samostatnosti a interakce s okolním prostředím a podle požadavku zadavatele. Podněty (světelné, tlakové, tepelné aj.) vnímá pomocí senzorů a kontinuálně je vyhodnocuje.

Seznam použitých zkratk

ADL	běžná denní činnost
AMPA	receptor/γ α-amino-3-hydroxy-5-metyl-4-isoxazolepropionové kyseliny
APOE	apolipoprotein E
AT	asistivní technologie
ATP	adenosintrifosfát
BDNF	<i>brain derived neurotrophic factor</i>
BTK	bezpečnostně-technická kontrola
BWSTT	<i>body-weight supported treadmill training</i>
CaMKII, CaMKIV	Ca ²⁺ /kalmodulin dependentní kináza II a IV
cAMP	cyklický adenosinmonofosfát
CBP, CREB	<i>binding protein</i>
cGMP	cyklický guanosinmonofosfát
CIMT	terapie indukovaná vynuceným pohybem (<i>constraint induced movement therapy</i>)
CMP	cévní mozková příhoda
CNS	centrální nervová soustava
CPG	generátor centrálních vzorců pohybu (<i>central pattern generator</i>)
CRE	<i>cAMP response element</i>
CREB	<i>cAMP responsive element binding protein</i>
CRPS	<i>complex regional pain syndrome</i>
DAP	<i>differential air pressure</i>
DK, DKK	dolní končetina/γ
DMO	dětská mozková obrna
EBM	<i>evidence-based medicine</i>
EEG	elektroencefalografie
EKG	elektrokardiografie
ER	endoplazmatické retikulum
GA	Golgiho aparát
GABA	kyselina gama-aminomáselná
GlutR1, GlutR2	podjednotky AMPAR
GPCR	receptory spřažené s G proteinem (<i>G protein-coupled receptor</i>)
HTA	hodnocení zdravotnických technologií
HK, HKK	horní končetina/γ
IGF-1	inzulinu podobný růstový faktor 1 (<i>insuline-like growth factor 1</i>)
KID	kinázou indukovatelná doména (<i>kinase inducible domain</i>)
LTD	dlouhodobá deprese (<i>long-term depression</i>)
LTP	dlouhodobá potenciace (<i>long-term potentiation</i>)
MAPK	MAP kináza (<i>mitogen activated protein kinases</i>)
mBDNF	<i>mature brain derived neurotrophic factor</i>
mGlutR	metabotropní glutamátový/é receptor/γ
MR	magnetická rezonance
MZ ČR	Ministerstvo zdravotnictví České republiky
NMDAR	N-metyl-D-aspartátový/é receptor/γ