Bronislav Kračmar
Martina Chrástková
Radka Bačáková
a kolektiv

FYLOGENEZE LIDSKÉ LOKOMOCE



KAROLINUM

Fylogeneze lidské lokomoce

Bronislav Kračmar
Martina Chrástková
Radka Bačáková
a kolektiv

———

Recenzovali:
doc. MUDr. Alois Krobot, Ph.D.
prof. MUDr. Ladislav Pyšný, CSc., MPH
doc. RNDr. Václav Vančata, CSc.
doc. MUDr. František Véle, CSc.

Autoři
Radka Bačáková, Jan Busta, Milan Bílý, Lada Čuříková, Ondřej Fanta,
Roman Horyna, Martina Chrástková, Matouš Jindra, Lenka Kovářová,
Jiří Kostínek, Bronislav Kračmar, Zuzana Hejná Kvítková, Petra Matošková,
Petr O. Novotný, Lenka Ryšánková, Tomáš Skála, Martin Škopek, Jan Štěrba,
Vladimír Süss, Hana Vatěrová, Martina Vystrčilová, Martina Zbořilová

Vydala Univerzita Karlova
Nakladatelství Karolinum
Redakce Václav Hozman
Grafická úprava Jan Šerých
Sazba Nakladatelství Karolinum
Vydání první

© Univerzita Karlova, 2016
© Bronislav Kračmar, Martina Chrástková, Radka Bačáková, 2016
Illustrations © Bronislav Kračmar, 2016
Preface © František Véle, 2016

Výzkum byl prováděn s podporou grantu Grantové agentury
České republiky GAČR 406/08/1449; grantů Grantové agentury
Univerzity Karlovy; Výzkumného záměru Univerzity Karlovy,
FTVS pod označením MSM 0021620864 s názvem Aktivní životní styl
v biosociálním kontextu a Programu pro rozvoj vědeckých oborů
na Univerzitě Karlově PRVOUK P38.

ISBN 978-80-246-3379-4
ISBN 978-80-246-3388-6 (online : pdf)



Univerzita Karlova
Nakladatelství Karolinum 2016

www.karolinum.cz
ebooks@karolinum.cz

Chůze člověka se v podstatě podobá pohybu čtyřnohých zvířat pohybujících nohama do kříže jako například klusající kůň. Stejně tak člověk hýbe do kříže čtyřmi končetinami, to znamená, vykročí-li pravou nohou, dá dopředu levou paži a naopak.

Leonardo da Vinci (1452–1519)

OBSAH

Poděkování 11

PŘEDMLUVA (*František Vélе*) 13

ÚVOD (*Bronislav Kračmar*) 17

1. LIDSKÁ LOKOMOCE (*Bronislav Kračmar*) 20
1.1 Monitorování lidské lokomoce (*Vladimír Süss*) 24
1.1.1 Krok 1 – Definování cíle modelu 25
1.1.2 Krok 2 – Výběr metod 25
1.1.2.1 Elektromyografie 25
1.1.2.2 Dynamika 25
1.1.3 Krok 3 – Omezení 26
1.1.3.1 Snímaná frekvence, citlivost přístrojů 26
1.1.3.2 Výběr probandů 26
1.1.3.3 Proměnné veličiny 27
1.1.3.4 Počet pokusů 27
1.1.3.5 Výběr typu modelu 28
1.1.3.5.1 Kinematický model na základě kinematických řetězců 28
1.1.3.5.2 Model vytvořený na základě kritických míst 29
1.1.4 Krok 4 – Měření 29
1.1.5 Krok 5 – Definování kroku 32
1.1.6 Krok 6 – Výběr sledovaných kroků 32
1.1.7 Krok 7 – Normalizace hrubého skóre 32
1.1.8 Krok 8 – Odstranění šumu 33
1.1.9 Krok 9 vytvoření modelu – Matematický a kineziologický popis modelu 36

2. POČÁTKY EVOLUCE SUCHOZEMSKÝCH OBRATLOVCŮ (*Bronislav Kračmar*) 39
2.1 Vznik končetin suchozemských tetrapodů 46
2.2 Funkce transformovaných končetin 50
2.3 Addukce končetin kvadrupedů pod trup 52
2.4 Trojflexe, trojextenze 59
2.5 Obecná poznámka ke vzniku končetin 61

3. KVADRUPEDIE OBRATLOVCŮ (*Bronislav Kračmar*) 65
3.1 Systematizace evoluce lokomočních strategií nadtřídy *Gnathostomata* (*Lenka Ryšánková, Bronislav Kračmar*) 70
3.2 Lokomoce ryb 73
3.3 Lokomoce tetrapodů 74
3.3.1 Lokomoce obojživelníků 74

3.3.2 Lokomoce plazů ... 75
3.3.3 Lokomoce savců ... 76
3.3.3.1 Režimy lokomoce savců ... 78
3.3.3.2 Lokomoce vodních savců (*Bronislav Kračmar*) ... 79
3.3.3.3 Strategie volby režimu lokomoce savců (*Lenka Ryšánková, Bronislav Kračmar*) ... 83
3.3.3.4 Charakteristika lokomoce savců ... 83
3.3.3.5 Vzorce lokomoce recentních nonhumánních primátů (*Petr O. Novotný*) ... 85

4. PŘÍMÍ PŘEDKOVÉ ČLOVĚKA MODERNÍHO TYPU (*Radka Bačáková, Bronislav Kračmar*) ... 91
4.1 Vznik rodu *Homo* ... 94
4.1.1 Vývoj moderního člověka (*Lenka Ryšánková, Bronislav Kračmar*) ... 97
4.1.1.1 Fylogeneze prehumánních primátů v kontextu rozvoje bipedie rodu *Homo* (*Radka Bačáková, Bronislav Kračmar*) ... 100
4.1.1.2 Dva rozdílné pohledy na vývoj člověka v kontextu bipedie (*Bronislav Kračmar*) ... 103
4.1.1.3 Teorie vertikalizace živočišného rodu *Homo* ... 105
4.1.1.4 Aktuální koncepce vertikalizace předků člověka ... 109
4.1.2 Třídění recentních hominidů ... 120
4.1.3 Systemizace lokomoce primátů (*Lenka Ryšánková, Bronislav Kračmar*) ... 121
4.1.4 Typy lokomoce primátů ... 121
4.1.4.1 Odlišnosti lokomoce primátů od lokomoce ostatních savců ... 123
4.1.4.2 Odlišnosti lokomoce pozemních a stromových primátů ... 125
4.2 Obecné poznatky k lidskému pohybu v kontextu lokomoce ... 125
4.2.1 Posturální systém v kontextu lidské lokomoce (*Bronislav Kračmar, Lenka Ryšánková*) ... 126

5. ONTOGENEZE LIDSKÉ LOKOMOCE (*Lenka Ryšánková, Bronislav Kračmar*) ... 130
5.1 První trimenon ... 131
5.2 Druhý trimenon ... 132
5.3 Třetí trimenon ... 132
5.4 Vertikalizace do stoje a chůze ... 133
5.5 Pletenec pánevní v ontogenezi (*Bronislav Kračmar*) ... 133
5.6 Reflexní lokomoce (*Lenka Ryšánková, Bronislav Kračmar*) ... 137
5.6.1 Reflexní plazení ... 137
5.6.1.1 Plazení (*Bronislav Kračmar*) ... 138
5.6.2 Reflexní otáčení (*Bronislav Kračmar, Lenka Ryšánková*) ... 140

6. BIPEDÁLNÍ LOKOMOCE (*Lenka Ryšánková, Bronislav Kračmar*) ... 144
6.1 Role horní končetiny při chůzi ... 145
6.2 Koordinace končetin ... 146
6.3 Srovnání lidské bipedální a kvadrupedální lokomoce ... 147
6.3.1 Srovnání lidské kvadrupedální lokomoce s lokomocí ostatních obratlovců ... 147
6.3.2 Srovnání kroku a cvalu člověka a koně (*Zuzana Kvítková, Radka Bačáková*) ... 149
6.3.2.1 Komparace kroku koně a kroku člověka ... 149
6.3.2.2 Komparace cvalu koně a cvalu člověka ... 156
6.4 Řízení lokomoce – generátory vzorů pohybu (*Lenka Ryšánková, Bronislav Kračmar*) ... 161
6.4.1 Fylogenetický vývoj řízení lokomoce ... 162
6.4.2 Řízení lokomoce savců ... 163
6.4.3 Společné řízení různých forem lokomoce ... 163
6.4.5 Řízení bipedální lokomoce ... 164

7. PŘIROZENÁ LIDSKÁ LOKOMOCE (*Bronislav Kračmar*) ... 166

8. DELFÍNOVÉ VLNĚNÍ – ALTERNATIVNÍ FORMA LIDSKÉ LOKOMOCE VE VODNÍM PROSTŘEDÍ ... 176
8.1 Ploutvové plavání (*Bronislav Kračmar*) ... 180
8.1.1 Objektivizace propulzní vlny při ploutvovém plavání (*Bronislav Kračmar, Radka Bačáková*) ... 183

9. JÍZDA NA KOLE (*Bronislav Kračmar*) 188
9.1 Pohyb na jízdním kole 189
9.1.1 Cyklistický krok (*Lenka Kovářová, Bronislav Kračmar*) 189
9.1.2 Jízda ze sedla (*Bronislav Kračmar*) 196

10. VESLOVÁNÍ (*Martina Zbořilová*) 199

11. INVALIDNÍ VOZÍK *(Hana Vatěrová, Bronislav Kračmar*) 209
11.1 Sed na vozíku (*Hana Vatěrová*) 210
11.2 Technika jízdy na vozíku (*Hana Vatěrová, Bronislav Kračmar*) 210
11.3 Pletenec ramenní při jízdě na vozíku ve srovnání s přirozenou lokomocí (*Bronislav Kračmar)* 211

12. OBJEKTIVIZACE „PŘIROZENÉ“ LIDSKÉ LOKOMOCE (*Bronislav Kračmar*) 217

13. KVADRUPEDÁLNÍ ZKŘÍŽENÝ LOKOMOČNÍ VZOR U ČLOVĚKA (*Bronislav Kračmar*) 225
13.1 Ověření kvadrupedálního zkříženého lokomočního vzoru 1 (*Radka Bačáková*) 226
13.2 Ověření kvadrupedálního zkříženého lokomočního vzoru 2 (*Bronislav Kračmar*) 231
13.3 Ověření kvadrupedálního zkříženého lokomočního vzoru 3 (*Martin Škopek, Bronislav Kračmar*) 234

14. LIDSKÁ LOKOMOCE PROSTŘEDNICTVÍM PLETENCE PÁNEVNÍHO
(*Lenka Ryšánková, Martina Chrástková, Bronislav Kračmar*) 236
14.1 Chůze 236
14.1.1 Chůze naboso a v obuvi (*Martina Chrástková, Radka Bačáková*) 240
14.1.2 Lokomoce s nadkolenní amputací (*Petra Matošková, Vladimír Süss, Bronislav Kračmar*) 242
14.1.2.1 Chůze s berlemi 242
14.1.2.2 Chůze s nadkolenní protézou 244
14.1.2.3 Chůze s francouzskými berlemi 246
14.2 Vytrvalostní běh jako evoluční mechanismus (*Jiří Kostínek, Bronislav Kračmar*) 248
14.2.1 Vývoj lidského rodu v kontextu fylogeneze běhu 249
14.2.2 Změny umožňující běh 250
14.2.3 Vytrvalostní lov jako konkurenční výhoda 252
14.2.4 Důkazy na podporu teorie vytrvalostního lovu 252
14.2.5 Současná situace 253
14.2.6 Rozdělení běhu podle došlapu (*Bronislav Kračmar*) 255
14.2.7 Běh v obuvi (*Martina Chrástková, Radka Bačáková*) 257

15. LYŽOVÁNÍ (*Martina Chrástková*) 259
15.1 Běh na lyžích 259
15.1.1 Běh na lyžích klasickou technikou 260
15.1.1.1 Kineziologické aspekty soupažného běhu prostého (*Roman Horyna, Bronislav Kračmar*) 267
15.2 Sjezdové lyžování (*Bronislav Kračmar*) 271
15.2.1 Komparace oblouků na vnitřní a vnější hraně lyže u lyžařů s jednostrannou nadkolenní amputací 279
15.3 Snowboarding (*Bronislav Kračmar*) 287

16. LIDSKÁ LOKOMOCE PROSTŘEDNICTVÍM PLETENCE RAMENNÍHO 290
16.1 Objektivizace lokomoce prostřednictvím pletence ramenního (*Bronislav Kračmar*) 297

17. KINEZIOLOGIE KONČETIN ČLOVĚKA (*Lenka Ryšánková, Bronislav Kračmar*) 300
17.1 Kineziologie horní končetiny 300
17.2 Kineziologie dolní končetiny 302
17.2.1 Rozhodující svaly dolní končetiny a pánve pro lokomoci člověka jako živočišného druhu (*Bronislav Kračmar*) 307
17.2.1.1 Gluteální svaly 307

17.2.1.1.1 Musculus gluteus maximus ... 307
17.2.1.1.2 Musculus gluteus medius ... 318
17.2.1.2 Musculus quadriceps femoris, vastus medialis ... 324

18. POSTURA PŘI SPORTOVNÍ LOKOMOCI (*Bronislav Kračmar, Martina Vystrčilová*) ... 333
18.1 Krční páteř při sportovní lokomoci ... 333
18.2 Horizontální optická orientace pro lokomoci ... 335
18.3 Velký týlní otvor ... 339
18.4 Synkinéze očních bulbů a poloha krční páteře ... 345
18.5 Nastavení optimální pozice na kole (*Lenka Kovářová*) ... 347
18.6 Experimentální ověření koordinačních vztahů pohybové soustavy při simulované fyziologické a patologické posturální situaci (*Bronislav Kračmar*) ... 349
18.7 Decentrace krční páteře při sportovním výkonu ... 355
18.8 Posturální situace na sjezdových lyžích ... 358
18.9 Atituda ve fázické činnosti (*Radka Bačáková, Bronislav Kračmar*) ... 363
18.10 Atituda v rizikové posturální situaci (*Ondřej Fanta*) ... 367

19. PLAVECKÁ TECHNIKA TĚLESNĚ HENDIKEPOVANÝCH PLAVCŮ S JEDNOSTRANNOU NADKOLENNÍ AMPUTACÍ (*Lada Čuříková, Petra Matošková*) ... 371
19.1 Plavecká technika kraul ... 373
19.2 Plavecká technika znak ... 374
19.3 Plavecká technika prsa ... 375

20. RYTMUS LIDSKÉHO POHYBU V KONTEXTU KINEZIOLOGIE (*Tomáš Skála, Bronislav Kračmar*) ... 377
20.1 Základní paradigmata ... 378
20.2 Propojení fylogenetického a ontogenetického pohledu na vývoj lidské motoriky ... 378
20.2.1 Reflexní a vegetativní pohyby hladké a srdeční svaloviny ... 379
20.2.2 Spontánní/autonomní pohyby příčně pruhované svaloviny a vtištěný model vývoje globální motoriky ... 379
20.2.2.1 Reflexní pohyby příčně pruhovaného svalstva ... 382
20.2.3 Intencionální ideomotorické pohyby ... 383
20.3 Uplatnění rytmu v procesu vytváření dynamických pohybových stereotypů ... 384
20.3.1 Tendence kognitivní (kinestetická) ... 384
20.3.2 Tendence ekonomická ... 387
20.4 Rytmická synchronizace na příkladu lidské lokomoce ... 388

21. REŽIM LIDSKÉ LOKOMOCE PŘI PŘEKONÁVÁNÍ NADMOŘSKÉ VÝŠKY (*Matouš Jindra*) ... 395
21.1 Skialpinismus ... 395

ZÁVĚR (*Bronislav Kračmar*) ... 400

PŘÍLOHY ... 403
1. Posilovací a imitační cvičení (*Bronislav Kračmar*) ... 405
2. Posilování kanoistů na divoké vodě (*Bronislav Kračmar*) ... 406
3. Pádlování na kajaku a v pádlovacím bazénu (*Bronislav Kračmar*) ... 412
4. Jízda na kajaku v bazénu s protiproudem a kliková ergometrie horních končetin (*Milan Bílý, Jan Busta*) ... 415
5. Porovnání výsledků zátěžových testů na kajakářském ergometru s dosahovaným výkonem v rychlostní kanoistice (*Milan Bílý, Jan Štěrba*) ... 419
6. Veslařský trenažér (*Martina Zbořilová*) ... 424
7. Chůze na běhacím pásu a v terénu (*Radka Bačáková, Martina Zbořilová*) ... 426

Seznam zkratek ... 427
Literatura ... 429
Rejstřík ... 455

PODĚKOVÁNÍ

Dovoluji si poděkovat několika skvělým lidem, kteří nastartovali můj zájem a formovali názory na lidskou lokomoci, i těm kteří mi umožnili s ostatními spolupracovníky projekt této publikace realizovat.

Jedním z prvních, který motivačně podpořil rodící se koncept, byl před patnácti lety tehdy osmitýdenní Lukáš. Neuvěřitelně „lokomočně" nadaný jedinec, který po krátké stimulaci předvedl na svůj věk neuvěřitelný výkon. Dokonale spontánně předvedl plazení a otáčení, kteréžto pohybové projevy jsou popsány ve Vojtově reflexní lokomoci. Dále byl pro mě velice inspirujícím šplh na laně bez dopomoci dolních končetin v tzv. olympijském šplhu Petra Bílého. Nejenže byl neuvěřitelně rychle nahoře, ale jeho dolní končetiny zcela mimovolně „kráčely" po fiktivním vertikálním chodníku v téměř dokonalé simulaci chůze. A samozřejmě Štěpánka Hilgertová se svým koordinačně dokonalým záběrem na slalomovém kajaku evokující představu „baletky na vodě". A řada dalších skvělých lidí, kterým se ve výzkumu říká nehezky a neosobně probandi. Jako neocenitelný studijní zdroj se ukázalo sledování vývoje pohybového chování obou mých synů, Vojtěcha a Matyáše. K procesu poznávání principů lokomoce přispěl i středně velký, štěkající, strakatý, chlupatý a málo poslušný kvadruped Aron. Rovněž tak čas strávený u výběhů a klecí primátů v pražské ZOO nepovažuji za promarněný.

Rád bych zmínil prim. MUDr. Jiřího Marka, lékaře s pěti odbornými atestacemi, který mistrně kombinoval základní postupy západní medicíny s doplňujícím efektem medicíny východní. Jeho nezapomenutelná, téměř holá věta: „Pohyb je řízen jako celek," nastartovala zcela jiný, komplexní způsob myšlení, než který jsme zvyklí v české kotlině používat ještě z období C. K. monarchie. Tento lékař, na vrcholu své kariéry působící v oblasti léčebné rehabilitace, dokázal i díky svým téměř „šamanským" schopnostem pomoci od potíží tisícům pacientů.

Z velikánů největších mě ozářil z „výšky rozhledny empirie svého věku i svého logického génia" pan doc. František Véle. Nikdy se na konzultacích nevyjádřil jednoznačně – je to tak nebo tak. Svoje nebohé studenty trápí tím, že pokud mají o daný problém zájem, musí o něm přemýšlet. Z mnoha desítek konzultací s tímto občansky nesmírně skromným člověkem jsem vždy odcházel s pocitem, že jsem nedostal odpověď na svoji otázku. Pochopení se dostavovalo v intervalu 20–30 minut. Jeho náznaky provokují k přemýšlení. Největší dar jsem od něj obdržel v dominantní myšlence *funkčního* pohledu na lidský pohyb. A to i s určitou skepsí k biomechanickým modelům lidského pohybu, které se i přes nesporné monitorovací a programové pokroky jednadvacátého století pohybují neustále ve filozofické dimenzi „člověk = stroj" století devatenáctého.

Prof. Václav Vojta – bohužel s ním jsem se nikdy osobně nesetkal. Poznání jeho originálních myšlenek mi zprostředkoval pan doc. Véle, jeho někdejší spolupracovník. Dětský neurolog prof. Vojta diagnostikoval a léčil pohybové poruchy dětí. A přitom de facto (aniž to bylo zřejmě jeho primárním odborným zájmem) vytvořil myšlenkové konotace k vývoji obratlovců po přechodu z vodního prostředí na souš. Díky němu začínáme tušit, proč se prostřednictvím pletence ramenního pohybujeme tak, jak se pohybujeme. A jedná se samozřejmě i o další souvislosti vertikalizace, postury a lokomoce i prostřednictvím pletence pánevního, které tento širším světem stále málo objevený génius postuloval.

Nelze nezmínit vlivy dalších hvězd „Pražské rehabilitační školy". Děkuji svým rodičům, že načasovali můj život do doby léčebného působení Ludmily Mojžíšové, která s původně pouze základním vzděláním pomohla z nesnází mnoha sportovcům. Co je ale důležitější, pomohla rovněž mnoha budoucím maminkám od funkční ženské sterility. Z dalších hvězd Pražské rehabilitační školy nelze nezmínit prof. Karla Lewita, který moje nedokonale formulované představy kriticky nijak nešetřil. Dále prof. Jandu a jeho původní snahu o rozdělení svalů na tonické a fázické a z toho plynoucí formulaci postulátu typicky lidské posturálně lokomoční situace – bipedální chůze. A ač je to generačně nezvyklé, děkuji i svému bývalému studentovi prof. Pavlu Kolářovi za jeho syntézu poznatků Pražské rehabilitační školy, jejíž je dnes bezesporu nedílnou součástí, a to za formulaci, precizaci a rozvoj ontogenetických principů lidské postury a lokomoce. Jeho pojetí léčby pohybové soustavy je díky rozvinutí myšlenek prof. Vojty, paní Mojžíšové a jeho vlastní neobyčejné invence často poslední obranou před nástupem ortopedů a chirurgů.

Charismatický pan doc. Václav Vančata nám pomohl vysvětlit proces vertikalizace prehumánních primátů i pohybové chování našich nejbližších žijících příbuzných, primátů nonhumánních. Spíše než jako recenzenta, dovoluji si jej – primatologa světového významu – i bez jeho výslovného souhlasu považovat spíše za spoluautora celého projektu.

Dovoluji si poděkovat i řadě svých pregraduálních a postgraduálních studentů za vůli dotáhnout zdánlivě a často předem biomechanicky zpochybněný disertační nebo magisterský projekt do úspěšného konce. Naprostá většina spoluautorů se rekrutuje právě z nich.

Na závěr poděkování nemůžu opominout ty, kteří se mnou strávili bezpočet hodin diskusí v době svého volného času v kavárnách, vinárnách, při jízdě na kole, na běžkách nebo jen tak. Tímto se tak trochu omlouvám za svoji umanutost v diskusích. Děkuji svojí životní partnerce, rehabilitační lékařce Lucii, za to, že přečkala všechny časové peripetie vydání v kamenném nakladatelství a jako velmi nadaná hráčka softbalu uštědřila našemu textu několik přesných kritických odpalů, které pomohly k logické precizaci textu.

Bronislav Kračmar

PŘEDMLUVA

V monografii se popisuje všestrannost lidské lokomoce, která je možná jak pomocí pánevního pletence s uvolněním horních končetin pro nesení a manipulaci, tak pomocí pletence ramenního i s pomocí obou pletenců.

Pojednává se o vývoji lidské lokomoce, která vychází z vývoje pohybu ve vodním prostředí moře, kde předpokládáme, že vznikl život na Zemi, který se dále rozvíjel na souši lokomocí v horizontále až do lokomoce ve vertikále s uvolněním ramenního pletence pro manipulaci a nesení břemen.

Přechodem obratlovců na souš se zásadně mění forma končetin používaných k pohybu. Voda je rozsáhlá pružně uhýbající opěrná plocha, o kterou je nutno se opřít větší pevnou plochou vlněním těla nebo ploutví, aby vznikl lokomoční pohyb. Naproti tomu je plocha, o kterou se opírá živočich na souši, pevná, ale i členitá, a proto se opěrná plocha (končetina) musí přizpůsobit členitosti terénu pevného, kamenitého, písčitého, nebo dokonce i blátivého, aby se mohlo tělo opřít o terén vlastní silou a posunout se z místa, ke kterému je poutáno gravitační silou.

Ačkoliv se dnes všeobecně tvrdí, že se končetiny a jejich rozložitá kontaktní akra vyvinuly již ve vodě, nelze opominout formativní vliv pohybu na suchozemském povrchu nebo ve vodě, o který se musí končetina opřít, aby mohl vzniknout pohyb těla. Proto se končetiny musely ***dovyvíjet*** na souši. Je to umožněno schopností živého organismu adaptovat se na zevní prostředí, která je řízena nervovou soustavou schopnou vlastnosti terénu vnímat, aby se jim mohla v lokomoci přizpůsobit.

V souvislosti s kapitolou o trojflexi a trojextezi poznamenávám, že reciproční inervaci je nutno brát v souvislosti s rychlostí pohybu, protože při velmi rychlém pohybu agonisty, může „nepracující" antagonista pohyb zastavit natahovacím reflexem antagonisty. Tato funkce prodloužení a zkrácení virtuální délky končetiny je podmínkou adaptability chůze na členitost terénu, protože jinak bychom chodili neobratně a nepřizpůsobivě jako po chůdách.

Co se týká kapitoly kvadrupedie obratlovců, je nutno podotknout, že zkřížený lokomoční kvadrupedální vzor lokomoce předních i zadních končetin je zakódován již segmentově v krční a bederní míšní intumescenci, které jsou vzájemně propojeny a platí pro ně pravidla alternujícího fázického a tonického pohybu. Jejich cykly jsou vzájemně posunuty v závislosti na sklonu terénu a rychlosti lokomoce. Tento zakódovaný mechanismus je základem, jehož funkce se upravuje podle aktuálního stavu prostředí, které mozek vnímá a podle přijatých informací řídí charakter lokomoce. Lokomoční pohyb nezahrnuje jenom pohyb končetin, ale i méně nápadný pohyb celého osového orgánu – celého těla, jak jej Vojta popisuje ve své práci

o reflexním otáčení a reflexní zkřížené lokomoci u kojenců při pomalém pohybu na rovném terénu v horizontální rovině.

V pojednání o systemizaci evolučních strategií lokomoce různých druhů se rozebírá vlnivý pohyb ryb, pohyb obojživelníků, plazů, savců suchozemských i vodních a nakonec se studuje lokomoce non-humánních primátů. V této kapitole se ukazuje jednoznačně vývoj různých druhů, který se neopakuje a závisí na podmínkách zevního prostředí geologického i klimatického, které se rozsáhle měnily a vedly k zániku různých druhů s menší schopností přizpůsobit se prudkým změnám prostředí. Jde o selektivní výběr živočichů, který mi připomíná vývoj inteligence mozku, jenž vybírá vjemy a zařazuje je selektivně do kategorií podle určitých měřítek. Tomuto vybírání a slučování do vybraných kategorií říkáme vývoj intelektu i druhů a lze k tomu použít starý a méně známý termín *výběrová slučivost* neboli vývoj intelektu člověka i vývoj druhů. Je zde zmíněn i starý spor mezi evolucionisty a kreacionisty. Autoři se hlásí ke kapitole o přímých předcích člověka. Z této kapitoly vyplývá poznatek, že hominidé přicházejí na scénu před 6–8 miliony let a *Homo* se začíná objevovat před 2–3 miliony let jako *Homo erectus* a pokračuje až do dnešního *Homo sapiens sapiens*.

V kapitole o vývoji moderního člověka se poukazuje na vzájemný obousměrný vztah mezi sociálním prostředím a člověkem. Člověk je podle Aristotela ***zoón politikon*** neboli ***společenský živočich,*** který rozvíjí mozek včetně mozečku a vede to ke změně konfigurace obličeje, kde dříve dominovaly čelisti a později čelisti ustupovaly vývoji mozku a obličeje, který začal sloužit komunikaci gesty i zvuky až do komunikace artikulovanou řečí, která dále přispívala k rozvoji diferencovaných mozkových a mentálních funkcí. Tento vývoj diferencovaných funkcí mozkových umožnil bezpečnou vertikalizaci spojenou s bipedální lokomocí, která umožnila pohyb a práci vestoje pro tvorbu nástrojů na ovládání zevního prostředí. Tím se ztrácel pozvolna podíl horních končetin na lokomoci ve prospěch jejich manipulační funkce, je však možné horní končetiny použít i k lokomoci ve složitém přírodním terénu. Protože platí, že funkce formuje orgán, je nutno předpokládat, že pro strukturální změny kostry trupu i dolních končetin u člověka je důvodem rozvoj mentálních funkcí, které řídí funkce mechanické. Tím je umožněna adaptace na zevní prostředí, a tím i jeho ovládání, jak o tom svědčí poslední překotný vývoj okolní přírody vlivem lidského myšlení a ostatních mentálních funkcí, které vytvořily civilizační technickou kulturu pouze ve zdánlivý prospěch, ale ve skutečnosti v neprospěch kultury humánní.

Výchozím stanoviskem autorů pro bipedální lokomoci je předpoklad, že bipedální lokomoce vychází z kvadrupedální zkřížené lokomoce, která je v míše pevně zabudována u všech kvadrupedů i hominidů i u *Homo sapiens*. Autoři se snaží tento fakt, z něhož vycházel i Vojta, prokázat elektromyograficky i na sportech, které používají k lokomoci horní končetiny – jako šplh na laně nebo jízda na kajaku –, nebo při brachiaci na horizontálním žebříku apod. Prokázali, že s pohybem horních končetin se zkříženě pohybují i dolní končetiny, i když k tomu nemají žádný oporný důvod kromě kajaku. To svědčí o tom, že zkřížená kvadrupedální lokomoce je již jakoby pevně „zadrátována" v míše u všech kvadrupedů včetně bipedálního člověka, který ve svém ontogenetickém vývoji kvadrupedální lokomocí prochází, jak to popsal Vojta a použil tohoto poznatku ve své včasné diagnostice i v terapii centrálních poruch motoriky v postnatálním údobí ontogenetického vývoje člověka. Tato zakódovaná kvadrupedální funkce a její projevy se uplatňují jak při chůzi, tak i u sportů, kde se používá k pohybu i svalstva ramenního pletence (brachiace), např. při lezení po skále.

Skupina spolupracovníků zachytila elektromyograficky svalovou aktivitu při normální chůzi i chůzi s holemi nebo s berlemi, lokomoci při různých sportech, abychom získali obraz

o tom, jak dané sporty ovlivňují motoriku. Sledovali pomocí EMG i lokomoci na kole, na bruslích, na lyžích i na snowboardech i na vozíku u paraplegiků používajících vozík, kde dochází k zatěžování ramenního plence a může dojít až k nekróze hlavice humeru.

Autoři správně kritizují tělovýchovnou nomenklaturu, která je založena na pohybu končetin v souřadnicových rovinách. Praktický pohyb ADL (activities daily living) se v těchto rovinách téměř nekoná, ale probíhá nejčastěji v rovinách diagonálních, a to je příčina rozporu mezi tělovýchovnými pracovníky a fyzioterapeuty.

Některé normy délky kroku nebo rozdělení svalové aktivy v aktivních skupinách svalů participujících na daném pohybu jsou odvozeny nejen od výkonných sportovců, ale i od civilistů a z toho plyne závěr, že i EMG studie musí být brány ve svých závěrech relativně, a to vzhledem k individualitě pohybových schémat jednotlivce, která jsou sice geneticky zakódována, ale jsou vystavena působení vlivu zevního prostředí, na které se podle Lamarcka dovede organismus adaptovat. Ovšem mohou být ovlivněna i vnitřním prostředím.

Chůze s holemi (nordic walking) ukazuje, že hole vyřazují funkci stehenních adduktorů, jejichž hlavní funkcí je posturální stabilizace a jistota při bipedální chůzi. Při chůzi s holemi je stabilita chůze zajištěna čtyřbodovou oporou, a proto pokládám chůzi s holemi na rovině za návrat ke kvadrupedii. Potřebná chůze s holemi je tam, kde na šikmém terénu je stabilizační funkce bez holí ohrožena.

Autoři sledují vztahy zkřížené lokomoce ve sportovních disciplínách, zejména ve sportech v přírodě – podrobně studují lyžování klasické i alpinistické disciplíny včetně snowboardingu. Zabývají se problémem stabilizace pohybu podle tzv. hlubokého a povrchového stabilizačního systému. Zastávám názor, že posturální systém sloužící stabilizaci polohy se nedá rozdělit anatomicky na dva oddělené systémy, ale je to jeden společný stabilizující systém, který pracuje v úzké spolupráci s dechovými pohyby a tvoří spolu jeden funkční celek, který pracuje podle toho, jaká je výchozí poloha držení těla nebo ze které vychází i zamýšlený a cíleně orientovaný pohyb, a podle toho používá k zajištění stability polohy i zamýšleného pohybu adekvátní svalové skupiny.

Výchozí poloha ze vzpřímení (Pandžábího centrální zóna) je důležitá a zajišťují ji krátké hluboké meziobratlové svaly a zevní rotátory kolem kyčelního a ramenního kloubu ve vzpřímené poloze podle Basmajiana zvané *shunt muscles* (pomocné svaly). Mimo tuto centrální zónu ve vertikále se zajišťuje stabilizace dlouhými svaly podle Basmajiana zvanými *spurt muscles*. Vedle toho jsou v obou případech iniciátory stabilizačního úsilí jednak bránice, jednak musculus transversus abdominis, který je podle Creswella prvním iniciátorem stabilizačního úsilí při změně osy těla vůči ose gravitace, na kterou reaguje jak vestibulární aparát, tak vnitřní svaly nohy a receptory v oblasti planty signalizující okamžité plošné rozložení zátěže. Pojem ***centrace kloubů*** pokládám za nevyhovující název pro funkci, kterou má zajišťovat, protože se jím míní schopnost krátkých svalů kolem kloubů jistit vzájemné výchozí postavení (polohu) hlavice a jamky tak, aby opotřebení kloubu bylo co nejmenší.

Autoři studují i orientovanou atitudu a její vliv na pohybovou soustavu a nezanedbali ani vliv pohledu, tj. funkce okohybných svalů na pohyb osového orgánu i končetin, který je velmi často při rozborech opomíjen. Potvrzují tvrzení, že oči vedou pohyb. Zjistili i důležitý fakt, že kontrola zraku při náhlé neočekávané zátěži zlepšuje účinek obranné reakce.

Jde o rozsáhlé společné dílo katedry sportů v přírodě, jejích žáků i vedoucího výzkumného týmu, které má svoje výhody různého přístupu a nevýhody, že se stejný problém vykládá jinými slovy, což ale dokazuje, že lidské myšlení není jednotné; je naopak individuální, a proto

nutí k diskusi, kterou lze dospět k přesnějšímu výsledku. Svoje poznatky autoři konfrontovali vždy s rozsáhlými literárními údaji zabývajícími se obdobnou problematikou.

Snažili se o spolehlivou objektivní dokumentaci svých pozorování ve shodě s *Evidence Based Medicine*, protože jde o práci profesionálních pracovníků ve sportu i fyzioterapeutů pracujících jak s pohybem ADL, tak s pohybem sportovním, a to jak v normálních, tak v patologických poměrech. K tomu účelu použili vždy souběžně více vyšetřovacích metod, fotografie, kamerový videozáznam, EMG, kinematické vyšetření, analýzy zátěže na plantách nohou a věnovali objektivní vyšetřovací technice i jejímu hodnocení i možností omylů celou samostatnou kapitolu.

Za velmi cenný přínos považuji vývojovou studii lokomočního pohybu od nejstarší doby jak ve vodě, tak na souši. Chceme-li porozumět průběhu pohybové lokomoční funkce člověka jakéhokoli druhu pohybu ADL i pohybu ve sportu, musíme sledovat vývoj lokomoce od jejích začátků a vidět zachované stálé prvky, které se sice nemusí projevovat přímo, ale ovlivňují přesto současný lokomoční pohyb jakéhokoli druhu od ADL až po sportovní pohyby. Dokazuje to např. i Vojtův přístup k fylogenetické i ontogenetické části pohybového vývoje člověka, ve které se ukazuje, že u bipedálního člověka funguje stále (třebaže někdy jen naznačeně) zkřížený průběh kvadrupedální lokomoce a je zřetelně viditelný v pohybové ontogeneze. Ustupuje do pozadí, ale nezaniká ani u dokonalé a bezpečné bipedální lokomoce, ale projevuje se i v jiných formách lokomočního pohybu zejména ve sportu.

Práce je vybavena velkým množstvím krásných a poučných ilustrací a obrázků, které dokazují dokonalou prostorovou představivost, jež dokáže zřetelně promítnout třetí rozměr do plošného dvojrozměrného obrazu.

Tato názorná dokumentace přesvědčí jistě i ty čtenáře, pro které je doprovodný text nesnadným. Monografie většího a různého obsahu je svým zpracováním přístupná široké veřejnosti, sportovním odborníkům a zejména studentům zajímajícím se o kinesiologii pohybové funkce, ale i pro studenty fyzioterapie.

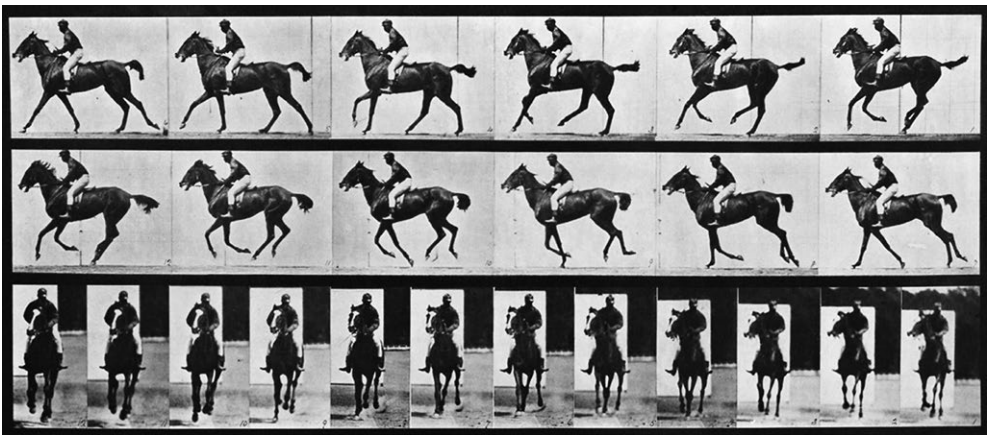
doc. MUDr. František Véle, CSc.

ÚVOD

V roce 1873 se o pohyb zvířat začal zajímat otec kinematografie Eadweard Muybridge. Bohatý chovatel koní Leland Stanford ve stejném roce uzavřel sázku o 25 000 USD. Tvrdil, že se v určitém stadiu koňského klusu ani jedna ze čtyř končetin nedotýká země. Muybridge se rozhodl dokázat, že Stanford má pravdu, a s jeho finanční podporou vytvořil sérii snímků na mokrých kolódiových deskách, které tento výrok potvrdily (Hill 2004). Vítěz sázky byl stanoven (obrázek 1).

Významně větší dopad měla nová metoda v kinematografii a fotografii. Rozvíjející se zobrazovací techniky umožnily získat obrázky diferencovaných poloh, které ve svém celku ilustrují průběh lokomoce zvířat i lidí. Odtud již vedla přímá cesta ke studiu obecných principů lokomoce, pohybových programů a vzorů, které lokomoční pohyb vytvářejí. Do té doby nebylo možno spolehlivě rozhodnout, dotýká-li se nebo nedotýká končetina země…

Chůze, na první pohled velmi jednoduchá, všední činnost. Vidíme a provádíme tento pohyb denně, pozorujeme stovky našich druhově příbuzných *Homo sapiens sapiens*, jak chodí, a nespatřujeme na tom nic zvláštního. Snad proto, že naše planeta je tak zalidněná, že se málokdy ocitáme v naprosté samotě. Každý den někoho potkáme. Vidíme, jak jde. Není



Obr. 1 Diferencované polohy lokomoce koně a postury jezdce (Muybridge, 1887)

důvod hledat za tím, že někdo odněkud někam jde, něco výjimečného. Ale popišme si situaci člověka od narození slepého, který byl podroben operaci, jež mu v jeho středním věku díky medicínskému pokroku poskytla poprvé dar vidění. Tento člověk popisuje jako svůj největší zážitek, jak byl fascinován barvou lidské kůže. Jak je prý ta barva nádherná. Pro normálně vidoucího naprostá samozřejmost. A to taková samozřejmost, že nejsme schopni u bledých lidských etnik barvu kůže verbálně popsat. Podíváme-li se podobně očima prozřelého na lidskou chůzi, začínáme tušit její dokonalost. Jsme schopni zvládat dlouhé vzdálenosti bez velkého výdeje energie, projdeme různými terény, a to i velmi těžkými a nepropustnými, chodíme po schodech, chůzí vyjádříme stav naší mysli. Chůze dvou studentů, kteří rozdílně uspěli u těžké zkoušky, na kterou se připravovali řadu týdnů, bude diametrálně odlišná. Pohybem dávají najevo stav své mysli. Úspěšný student při chůzi „létá“, neúspěšný připomíná „zborcené harfy tón“ Karla Hynka Máchy.

Chůzí po dvou se pohybují i jiní živočichové, ale při srovnání s chůzí lidskou spatřujeme její nedokonalost a neekonomičnost (nedokonalá bipedální postura šimpanze a chůze tučňáka jsou znázorněny na obrázku 2). Pro tyto živočichy je chůze po dvou většinou jenom krátkodobě použitelná varianta lokomoce.

Při chůzi máme volné ruce a můžeme ledacos přenášet. Člověk tuto svoji schopnost v prehistorii navíc umocnil objevením brašny, vaku, takže i při přenášení máme volné ruce, které



Obr. 2 Bipedální postura šimpanze a chůze tučňáka (z antropocentrického pohledu nedokonalé)

lze při chůzi užívat k jiným účelům. Ať již k míření lukem na kořist nebo k telefonování mobilním telefonem.

Vzpřímený postoj nevystavuje tělo slunečnímu záření tak jako čtyřnohé obratlovce. Tato skutečnost spolu s efektivní termoregulací projevující se pocením podporuje účinnější odvádění tepla, vzniklého svalovou činností. V klimaticky teplých oblastech Afriky, kam dnes lokalizujeme počátky vývoje moderního člověka, tak nehrozilo přehřátí organismu a to zřejmě představovalo významnou výhodu proti lovené zvěři.

Z principů lidské chůze pak vyvěrá mnoho dalších činností. Tyto varianty vycházející z chůzového pohybového vzoru nacházejí uplatnění především v zájmových rekreačních i výkonnostních formách sportovní činnosti. Chůze při překročení rychlosti 7 $km.hod^{-1}$ přestává být pohodlnou lokomocí a člověk přechází v běh. Ten se od chůze liší pramálo. Obsahuje fázi, kdy se ani jedna končetina nedotýká země. Ale velmi výkonní sportovci užívají archetypálního způsobu běhu, který zřejmě nevychází z pohybového stereotypu chůze, protože nedošlapují na patu. Dodnes se tímto způsobem pohybují běžci v oblastech, které jsou minimálně postižené civilizací – v Keni, v Etiopii, v Mexiku, v Andách.

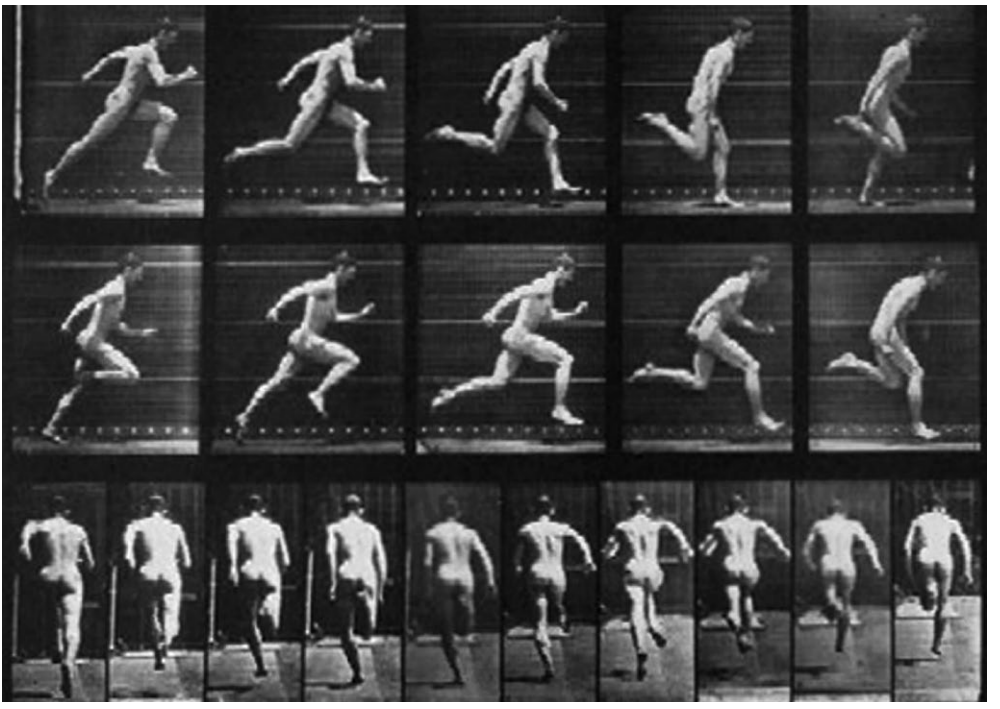
Chůze ale není jediná přirozená forma lokomoce člověka. Umíme se pohybovat i působením síly svých paží. Vyšplháme na strom načesat si zralých třešní, při zvláštních situacích přelezeme plot, Cyrano z Bergeracu nebo Romeo by při troše šikovnosti byli schopni vylézt na kýžený balkón. Trénovaní jedinci jsou schopni šplhat po laně bez pomoci dolních končetin nebo pádlovat na kajaku či šplhat na mnohasetmetrová skaliska. Půlroční kojenec se také začíná pohybovat ponejprv prostřednictvím svých paží, samozřejmě s částečnou dopomocí dolních končetin.

Za těmito zázraky lidské lokomoce lze tušit její mnohaletý vývoj. Toto neobyčejně obyčejné téma by mělo být náplní předkládané knihy. Autoři si nekladli za cíl vytvořit encyklopedické dílo se systemizací lidské lokomoce. Jejich záměrem bylo uvést do souvislostí jevové stránky lidského pohybu s vývojem lokomoce živočišných druhů směřujících k rodu *Homo*. Profesní specializace nás vedla k využití výsledků objektivizačních výzkumů v oblasti sportu a běžných sportovně rekreačních činností lidí v moderní civilizované společnosti. Čtenář může být poněkud rozčarován „sportovní“ náplní této knihy. Ale ve sportovních činnostech se nachází velký tezaurus různých forem lokomoce. A výkonnostní sport na nejvyšší úrovni je vlastně úžasnou laboratoří, ve které nalezneme limitní situace lidského organismu. Informace z boje výkonnostně nejvýše postavených sportovců o co nejlepší výsledky nám dávají informace o nejvyšší míře ekonomiky pohybu, kterou pak můžeme použít pro svoje rekreační, relaxační, regenerační, rehabilitační a další občanské aktivity.

1 LIDSKÁ LOKOMOCE

V roce 1877 fotografoval Eadweard Muybridge pohyb zvířat a lidí. Pracoval až s třiceti kamerami. Jako výsledek své práce zveřejnil roku 1887 ve Filadelfii 781 světlotisků pod názvem *Animal Locomotion and The Human Figure in Motion* (Muybridge, 1887). Tyto sekvence fotografií pořízených ve zlomcích vteřiny poprvé ukazují diferencované obrazy lokomoce různých zvířat a lidí. Od té doby je odstartován na základě diferencovaných poloh zájem o pohyb živočichů i člověka v rámci jejich životního prostředí, o pohyb označovaný jako lokomoce. Příklad diferencovaných poloh jezdce na koni je uveden na obrázku 1.

Obrázek 3 je pořízený ze dvou synchronizovaných kamer. Je sice primitivní, ale zřejmě se jedná o první synchronizované zobrazení lidského pohybu.



Obr. 3 Běžící muž (Muybridge, 1887)

V běžné denní realitě nevědomky vykonáváme množství pohybů, které nám připadají běžné, známé, jednoduché a nezajímavé. Jsou automatickou součástí našeho života bez cílené vědomé kontroly. Činnosti každodenního života, jako je hygiena, vaření, stravování, sebeobsluha, cesta do zaměstnání, nakupování, se stávají součástí určité životní rutiny. Rutinní podstatu těchto činností si uvědomujeme až tehdy, když dojde k narušení pohybového stereotypu. Čistění zubů dominantní horní končetinou v nás nezanechává žádný zásadní zážitek. Dojde-li k úrazu dominantní (resp. preferované) horní končetiny, zjišťujeme, jak hluboce byl stereotyp fixován každodenní praxí. Zubní hygiena se rázem stává problémem. Pohyb kontralaterální horní končetinou se musíme učit téměř od počátku. A čím více je takový pohybový stereotyp lateralizován, tím hůře se stereotyp vytváří na končetině opačné. A to tak, aby byl vytvořen pohybový stereotyp alespoň na bazální úrovni kvality pohybu zajišťující základní provedení pohybového úkolu. Běžné činnosti denního života se vyvíjely, či jsme se je učili v dětství a v průběhu dospívání. Jejich provádění se postupně zlepšovalo, u každého jednotlivce se vyvinula maximální možná kvalita těchto běžných činností, které navazují na pohybový vývoj v dětství a jsou vytvářeny na základě lidské vertikalizace, na jejíž kvalitě do určité míry závisí i kvalita prováděných rutinních denních činností. Dosažená kvalita vertikalizace u konkrétního jedince, která je závislá na procesu a výsledcích posturálně pohybové ontogeneze, dovoluje vytvořit oporu, bázi, která má rovněž určitou kvalitu a může do značné míry ovlivnit i pohyby horních končetin v každodenních činnostech.

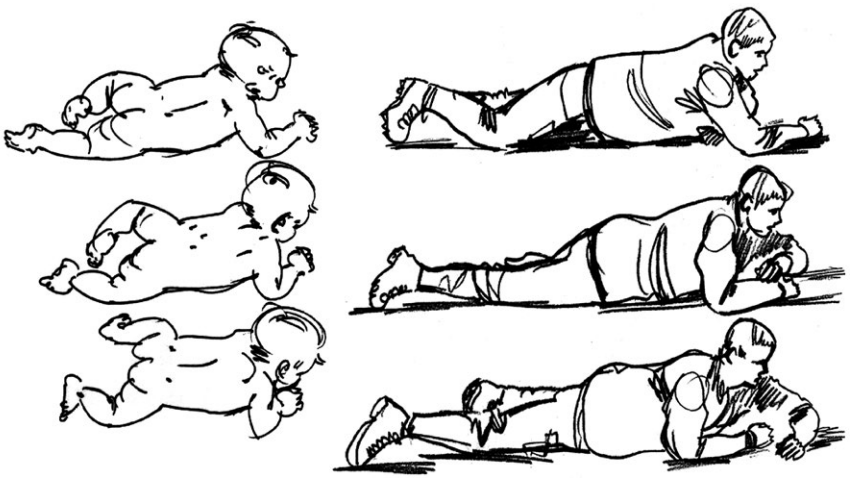
Proces učení a vytváření běžných denních činností dává tušit, že se jedná o záležitosti rázu ryze humánního. Sociální determinace tohoto vývoje je dnes více než zřejmá. Denní činnosti člověka jsou vázány na sociální prostředí, které je rozhodující měrou ovlivňuje. Zároveň je nutno zdůraznit, že tyto činnosti mají také svoji podstatu biologickou – definovaná a zároveň individualizovaná bipedální postura se vytvářela v procesu fylogeneze živočišných druhů směřujících k rodu *Homo*.

Nacházíme však ještě více samozřejmou realitu každodenního života, kterou si naprostá většina zdravé populace (s veškerou rezervovaností k pojmu „zdravá populace“) neuvědomuje. Touto realitou je „obyčejná“ chůze. Lidská chůze je výsledkem dlouhé fylogeneneze lokomoce suchozemských tetrapodů, především pak fylogeneze lokomoce prehumánních primátů směřujících k rodu *Homo*. Přičemž lokomoci chápeme jako druhově přirozený pohyb v okolním prostředí za účelem zajištění základních životních (metabolických, sociálních…) funkcí a potřeb. Chůze je naprosto bazální formou pohybu člověka na pevné podložce, od ní se odvíjejí ostatní formy lidské lokomoce, které jsou realizovány prostřednictvím pletence pánevního a dolních končetin. Jedná se především o pohybově rekreační a sportovní činnosti, jako je in-line bruslení, bruslení na ledě, běh na lyžích, lezení na lezecké stěně, skoky, běhy a všechny podobné formy lokomoce, při nichž je realizován odraz nohou.

Druhově typicky lidská lokomoce je tedy lokomoce bipedální a je označována jako **volná bipedální chůze**. Volná proto, že pletenec ramenní není do lokomoce přímo zapojen ve smyslu vytváření propulzní síly. Jedná se tedy o lokomoci, která je zajišťována prostřednictvím pletence pánevního.

Lidská činnost je velmi rozmanitá. Ne nadarmo je člověk označován jako *entis universalis*, tvor univerzální neboli specialista na univerzálnost. A to se týká i možností jeho lokomoce. Odhlédneme-li od lidské lokomoce zajišťované pomocí technických prostředků nebo sportovního vybavení (jízda autem, vlakem, na motorce, na kole, létání letadlem, paragliding, jízda na jachtě, motorovém člunu, sjíždění na lyžích, jízda na kolečkovém křesle, segway), nalézáme ještě další velkou skupinu pohybů, kdy je přirozená lidská lokomoce zajišťována

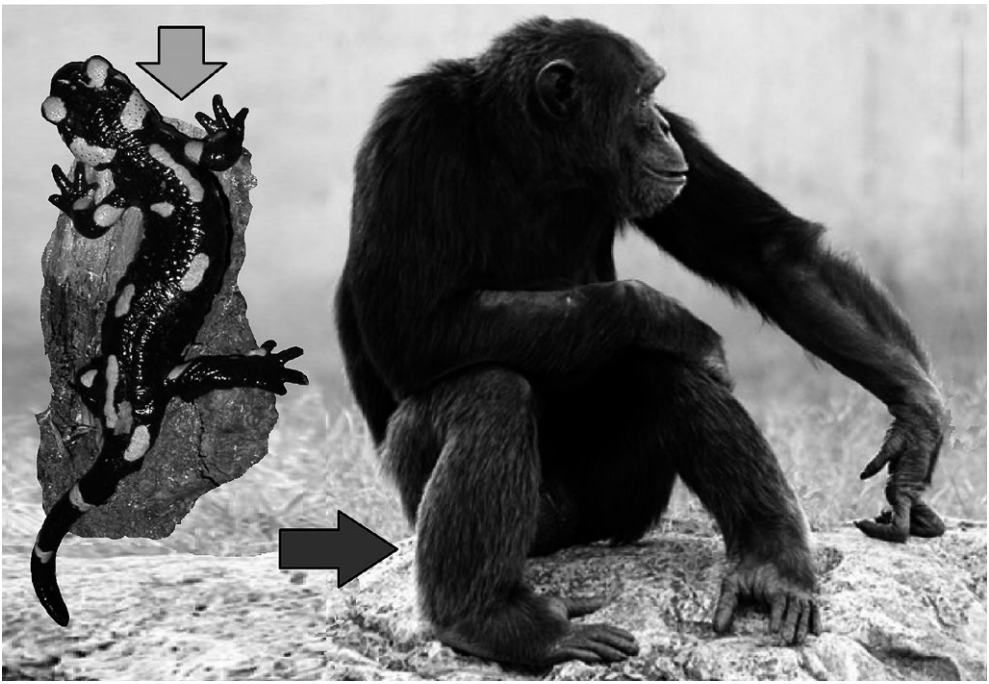
prostřednictvím pletence ramenního nebo je pletenec ramenní do lokomoce zapojen v kooperaci s pletencem pánevním a dolními končetinami. Jedná se o lezení po žebříku, chůzi do velmi strmých svahů s dopomocí paží, plížení a plazení, ale hlavně o rozsáhlou skupinu lokomoce při sportu a pohybové rekreaci – běh na lyžích klasickou technikou i bruslení na lyžích, sportovní lezení, horolezectví, bouldering, plavání, šplh, nordic walking, in-line bruslení s holemi. Lokomocí zajištěnou ryze prostřednictvím pletence ramenního je pádlování a šplh na laně bez dopomoci dolních končetin, tzv. olympijský šplh. Základním pohybovým programem pro lidskou lokomoci prostřednictvím pletence ramenního, který by měl tvořit i fundamentální bázi pro uvedené sportovní aktivity, je spontánní **plazení**. Této lokomoci se nejvíce blíží plazení vojáků, u kterých je známý povel „plížení plazením“, jak ve srovnání ukazuje obrázek 4.



Obr. 4 Tvarová podobnost práce pravé horní končetiny dítěte při reflexním plazení podle Vojty se spontánním plazením vojáka (archiv autorů)

Do spektra přirozené lidské lokomoce spadají i činnosti typu otáčení z lehu na záda, z lehu na břiše, vstávání z lehu, vstávání ze sedu a naopak sedání, ulehnutí.

Lokomoce člověka je tedy schopnost pohybu v prostoru pomocí svalové činnosti. Je zajištěna pomocí lokomočního systému, který je podsystémem pohybového systému. Ten zajišťuje a řídí aktivní přemístění živého organismu v definovaném prostoru a čase. U dospělého člověka na rozdíl od ostatních primátů dominují v zajištění základní formy lokomoce dolní končetiny, jedná se o bipedální lokomoci. Člověk je schopen do své lokomoce zapojit i končetiny horní. Z hlediska fylogeneze lokomoce se však jedná o naprosto odlišný fenomén, především z hlediska pohybových programů, které se v průběhu vývoje živočišných druhů vytvářely. Lokomoce ryze prostřednictvím pletence ramenního (pádlování, šplh na laně bez dopomocí dolních končetin) nebo v kombinaci s pletencem pánevním (ostatní výše uvedené aktivity pro pletenec ramenní) má svoje kořeny v období přechodu obratlovců z vody na souš, tedy v době před 405–360 miliony let. Tato forma lokomoce se v průběhu posturálně pohybového zrání člověka dále nerozvíjí. Zatímco lokomoce prostřednictvím pletence pánev-



Obr. 5 Pohybový program pro lidskou lokomoci pletencem ramenním byl vytvořen již u obojživelníků (světlá šipka), pro pletenec pánevní (tmavá šipka) se začal odvíjet až od společného předka šimpanzů a lidí, který byl dnešnímu šimpanzi nejspíše velmi podobný (Dawkins, 2004).

ního – chůze – prochází bouřlivým vývojem vertikalizace především v prvním roce extrauterního života a má svoje paralely s vývojem vyšších prehumánních primátů a živočišných druhů směřujících k rodu *Homo*. Toto období je datováno do doby před 7–6 miliony lety. Na obrázku 5 je znázorněn obojživelník (*Salamandra salamandra*), s nímž sdílíme podobný pohybový program pro lokomoci pletencem ramenním. Vedle sedící tvor (*Pan troglodytes*) je pravděpodobně nejvíce podobný společnému předku rodu *Pan* a rodu *Homo*. Až v této době se začal vyvíjet pohybový program pro lidskou lokomoci pletencem pánevním. Rod *Pan* však do procesu vertikalizace z neznámých důvodů nenastoupil.

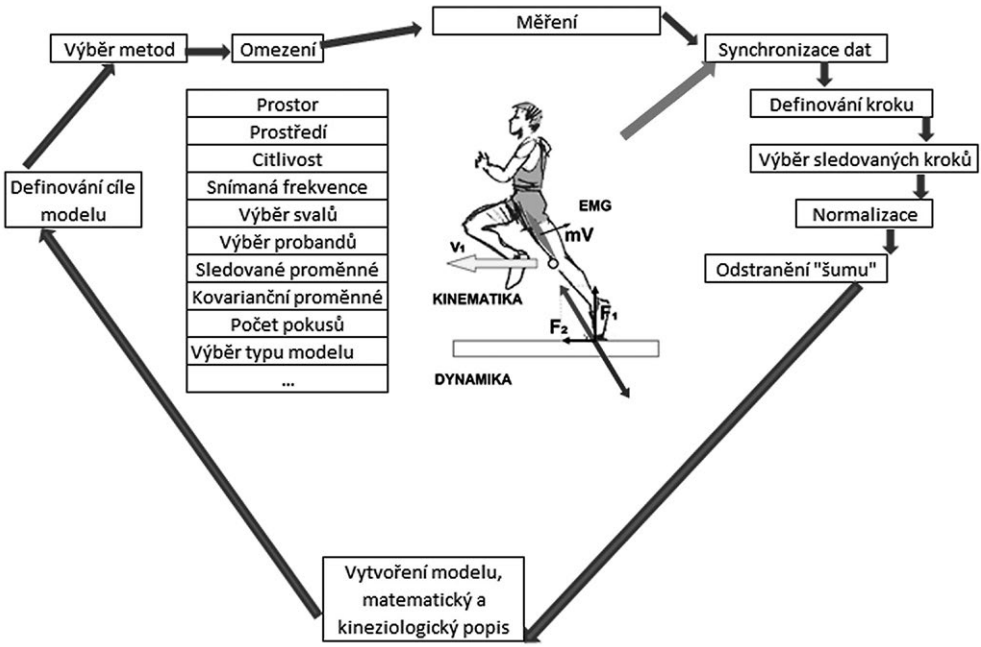
Následující text bude proto členěn z hlediska fylogeneze lokomoce suchozemských obratlovců, která by nám měla přiblížit fylogeneticky kódované principy lokomoce člověka prostřednictvím pletence ramenního, označené jako plazení, a to i s jeho modifikovanými formami jako pádlování, běh na lyžích atd. Poté bude přiblížena fylogeneze prehumánních primátů a linie směřující k rodu *Homo*, která by měla popsat přehled dosavadních poznatků o vertikalizaci rodu *Homo* a vzniku volné bipedální chůze u předků člověka moderního typu. Tyto poznatky budou doplněny i poznámkami z posturálně pohybové ontogeneze člověka, která je právě prostředkem rozvoje vertikalizace a lidské chůze.

Lidská lokomoce je předmětem výzkumu v mnoha vědeckých oblastech, jako například v kineziologii, neurologii, ortopedii, fyziologii, pediatrii, v oborech pojednávajících o lokomoci hendikepovaných osob; dále v biomechanice, kybernetice, antropologii, paleontologii,

v oblastech sportovních věd a v mnoha dalších. Následující kapitola přináší stručný přehled často frekventovaných výzkumných metod z oblasti „evidence based medicine“ pro monitorování lidské lokomoce. Tedy ve vědeckých oborech orientujících se spíše do oblasti biomedicíny, případně kombinace biomedicínských a společenskovědních oborů.

1.1 MONITOROVÁNÍ LIDSKÉ LOKOMOCE

Při popisu lidské lokomoce se jedná o vytvoření modelu lokomoce a jeho následné ověření. V podstatě se jedná o systémovou analýzu pohybu, ve které nejprve dochází k rozložení celku na části, a po deskripci těchto částí jde o syntézu opět v jeden celek. Mezi základní metody sloužící k popisu lokomoce, které jsou běžně používány, patří: kinematická analýza, elektromyografie, inverzní dynamika a také elektroencefalografie. Použití jedné metody je v praxi obvyklé, ale pokud chceme získat informace vedoucí k příčinným vztahům, je vhodná triangulace metod. Tím se dostáváme k možnosti vytvořit celkový (komprehenzivní) model, který může vnést do problematiky nové pohledy a objasnit příčiny vzniku například patologických forem lokomoce. Pokud ovšem vycházíme z holistického pohledu na zkoumanou lokomoci, je vhodné tyto biomechanické metody kombinovat s metodami z dalších vědních oborů např. zátěžová fyziologie, psychologie, motorické učení…



Obr. 6 Postup při vytváření modelu lokomoce

Při vytváření modelů lze postupovat systémem, jehož schéma je uvedeno na obrázku 6. Monitorování lokomoce postupuje po následujících krocích.

1.1.1 Krok 1 – Definování cíle modelu

Prvním krokem je – jako ostatně v jakémkoli výzkumu – definování cíle, tedy uvědomit si čeho chceme výzkumem lokomoce dosáhnout a jaké další kroky musíme udělat pro jeho splnění.

1.1.2 Krok 2 – Výběr metod

V návaznosti na definovaný cíl pokračujeme výběrem dostupných metod nebo jejich kombinací.

Kinematická analýza je popisná metoda, jež popisuje objekt pomocí kinematických proměnných: poloha bodu v rovině (2D) nebo v prostoru (3D) v závislosti na čase. Zaměřuje se na sledování polohy, rychlosti, zrychlení pohybu apod. Nesleduje však dynamické veličiny, jako např. hybnost a energii, kterými se zabývá dynamika.

Základní metodou měření kinematických veličin byla kinematografická metoda, která je postupem času modifikována spíše do „on-line" metod 2D nebo 3D kinematických analýz. Původní metoda pracovala s filmovým záznamem, později byl film nahrazen videozáznamem. Ke zvýšení přesnosti určení bodu na těle probanda byl používán systém „markerů", který byl převzat do systémů využívajících „zrcadlovou plochu" k odražení například infračerveného paprsku (systém Qualisis, Vicon) nebo naopak k vysílání světelného paprsku (Coda motion systém). Umístění „markerů" na těle je doporučováno podle standardního umístění na základě např. Robertsona (2009). V poslední době se pro hodnocení lokomoce využívají 3D akcelerometry – poměrně jednoduchá a rychlá metoda měření kinematických veličin, která umožňuje deskripci pohybu dolních končetin. Využívá se k hodnocení chůze a běhu (Preatoni et al., 2010a; Sadeghi, 2000; Hreljac & Marshall, 2000), ale je vhodná i pro popis dalších druhů lokomoce.

1.1.2.1 Elektromyografie

Je výzkumnou metodou, ve které se k popisu činnosti využívá snímání elektrické aktivity svalů a nervů, které svaly řídí. Principem je záznam akčního potenciálu, který vzniká aktivací svalu nebo drážděním periferního nervu. Podle typu použitých elektrod lze dělit na povrchovou elektromyografii a jehlovou elektromyografii. Pro analýzu sportovních pohybů je využívána povrchová elektromyografie, ale má svá omezení, a to na záznam akčního potenciálu pouze z povrchových svalů. Při publikování výsledků je vhodné uvést lokalizaci elektrod. Ty totiž snímají EMG potenciály ze svého bezprostředního okolí, a nikoliv z celého svalu. Pro lokalizaci nalepení elektrod jsou dnes vytvořeny propracované manuály. Jelikož se většinou jedná o snímání EMG aktivity z více svalů, užívá se termín polyelektromyografie. Při vytváření modelů lidské lokomoce je vhodné vycházet ze svalových řetězců či svalových smyček, jak jsou definované v kineziologii.

1.1.2.2 Dynamika

Dynamika je obecně část mechaniky, která se zabývá příčinami pohybu – hmotného bodu, tělesa, soustavy těles. Základními pojmy jsou síla, setrvačnost, hybnost, impulz síly a další. Cílem je popis pohybu hmotného bodu, tělesa, známe-li síly na něj působící. Pro hodnocení

lokomoce je vhodné kombinovat s metodou kinematické analýzy ve smyslu hledání příčin pohybu, velikost vektorů sil působících při odrazu z podložky, působících proti či ve směru pohybu, případně rozložení tlakových sil na chodidle při styku se zemí v oporové fázi lokomoce a další. Stejně vhodná je i kombinace s elektromyografií, vysvětlující příčiny nestejné aktivace svalů v průběhu lokomoce a podobně. Při popisu lokomoce se většinou vychází z klasické mechaniky, tj. z Newtonových pohybových zákonů – zákonu setrvačnosti, zákonu síly a zákonu akce a reakce.

1.1.3 Krok 3 – Omezení

Důležitým krokem při vytváření modelů je rozhodnutí, do jaké míry lze zkoumanou činnost zjednodušit (model je vždy zjednodušením skutečnosti) a jaké faktory ovlivňují měření s ohledem na reliabilitu a validitu vytvořeného modelu. Vzhledem k faktu, že pokud lokomoci zkoumáme v terénu a nelze vytvořit standardizované podmínky, musíme si ujasnit faktory, které vymezují podmínky pro vytvoření modelu. K nim patří především prostor a prostředí, ve kterém probíhá zkoumaná lokomoce.

Variabilita prostředí a podmínek hraje velkou roli ve způsobu lokomoce. Porovnávání například jízdy na kolečkových bruslích do kopce za pěkného počasí s jízdou na kolečkových bruslích po rovině s vanoucím větrem do zad bruslaře bude pravděpodobně zatíženo velkou chybou a jeho výsledky budou k nepoužití. Porovnávat lze porovnatelné, to znamená, že má smysl hledat shodnost (interindividuálně) v lokomoci ve stejném prostředí za stejných environmentálních podmínek. Výzkum lokomoce, pokud se nejedná o situaci v laboratoři, je vhodné provést ve stejný den, se stejnými pomůckami za stejných vnějších podmínek. Při intraindividuálním porovnání bychom měli vycházet z teorie jednoho rozdílu, tedy že vše zůstává stejné, ale mění se jedna z podmínek. Například uvedený bruslař bude jednu lokomoci provádět v jízdě z mírného kopce a druhou sledovanou lokomocí bude jízda do kopce. Vše ostatní – výzbroj, výstroj, tempo jízdy (frekvence kroků), intenzita provádění atd. – zůstává konstantní, tedy stejné.

1.1.3.1 Snímaná frekvence, citlivost přístrojů

Výběr snímané frekvence souvisí jednak s cíli výzkumu, jednak na možnostech zvolené metody (přístroje) a také je nutné vzít v úvahu kombinování metod popisu. Při rozdílné frekvenci záznamu nastanou vždy otázky spojené se synchronizací záznamu. Při rozdílné frekvenci záznamů pomocí videozáznamu a EMG musíme hledat reálný okamžik pro hodnocení pomocí analýzy časových řad (například autokorelací), pouhá optická synchronizace nemusí odpovídat realitě (více v části věnované synchronizaci metod). Citlivost přístrojů je dána výrobci a standardizací podmínek měření. Ke konkrétnímu výběru těchto faktorů, omezujících měření, je vhodné vycházet z předchozích publikovaných výzkumů nebo na základě (i v kombinaci) s expertním šetřením.

1.1.3.2 Výběr probandů

Výběr sledovaných osob musí vždy konvergovat k určenému cíli. Je-li možnost vybrat z určené populace sledované osoby, tak by vždy mělo jít o náhodný výběr, například pomocí

losování nebo přiřazením čísel probandům, a pak výběr provést pomocí tabulky náhodných čísel. Záměrný výběr děláme vždy, pokud je cílem popis nějaké specifické lokomoce, a předpokládáme tudíž její dokonalé zvládnutí. V tomto případě by měl následovat popis, proč jsme vybrali tyto osoby a na základě jakých kritérií.

1.1.3.3 Proměnné veličiny

I výběr sledovaných proměnných se váže k cíli, ke kterému je model vytvářen, dále pak je nutné vzít do úvahy vztahy mezi jednotlivými segmenty těla a návaznost na vybrané kinematické řetězce a jim odpovídající svalové smyčky. Snad nejlépe zdůvodnitelným výběrem proměnných je odkaz na předchozí výzkumy a učební články (tradiční proměnné). Pokud byla v minulosti během zkoumání daná dovednost dobře analyzována, potom je tento přístup pravděpodobně zcela praktický. Má však také svá omezení – jedním z nich může být skutečnost, že předchozí výzkumy mohly mít zkreslené zájmy a jednoduše nebraly v potaz některé klíčové aspekty výkonu. Druhou možností je volba takových proměnných (logické proměnné), u kterých se předpokládá její významnost pro provedení dovednosti (např. úhel flexe v koleni při skoku). V těchto případech je možné zdůvodnit zařazení proměnných založených na „logické“ bázi spíše než na pouhých spekulacích. Je vhodné konzultovat výběr sledovaných proměnných s dalšími odborníky, protože pouze vlastní názor může trenéra ovlivnit natolik, že nebude sledovat ty proměnné, které jsou pro dané kritické místo pohybu významné.

1.1.3.4 Počet pokusů

Pokud analyzujeme a hodnotíme výkon v určité dovednosti, naskýtá se otázka, jaký je nutný počet opakovaných pokusů, abychom dosáhli vyšší obsahové validity našich výsledků se skutečnou úrovní sledované osoby v dané dovednosti. Jednou z metod, jak tento nutný počet určit, je „sekvenční odhad postupu“ (Hamill & McNiven, 1990). Sekvenční analýza je metoda řešení statistických úloh. Vychází ze sekvenčně uspořádaného experimentu, tedy z posloupnosti dílčích experimentů, jejichž délka není předem určena a které se konají jeden za druhým. Po každém z dílčích experimentů se rozhoduje, zda budeme pokračovat v dalším experimentu, či pokus ukončíme a k vyřešení úkolu použijeme data z uskutečněných experimentů (Hušková, 1999). Jedná se tedy o metodu používanou pro určení počtu po sobě následujících pokusů, které jsou nezbytné pro získání stabilní střední hodnoty každé posuzované proměnné, subjektu a pohybu, kterým je hodnota generována pro kumulativní průměr přidáním jednoho zkoumaného objektu v daném čase. Stabilita je rozpoznána, když po sobě jdoucí střední odchylky spadají do rozsahu okolo celkového průměru. Specifická kritéria pro získání stabilního průměru (tj. pásma) je založena na potřebě získat stabilní výsledek, přičemž se snaží udržet co nejnižší počet zkoušek (Hamill & McNiven, 1990).

Počet pokusů nutných k zachycení stabilního výkonu je tedy důsledkem činnosti (závisí na ní), subjektu a proměnných v průběhu výzkumu (Preatoni, 2007; Preatoni et al., 2010b). V **analýze běhu** je počet pokusů nutných k zajištění spolehlivého odhadu reakční síly (GRF) v rozmezí **8** (Bates et al., 1983) až **25** (Devita & Bates, 1988). Pro **chůzi** byl prokázán minimální počet kroků k hodnocení **10** (Hamill & McNiven, 1990). Rodano a Squadrone (2002) uvádějí pro získání spolehlivého odhadu při zkoumání kinematických dat v kloubu (síla, moment síly) při **vertikálním skoku** počet **12** skoků. Preatoni et al. (2010b) pozorovali řadu

kinematických parametrů zachycujících techniku **závodní chůze** u skupiny elitních atletů a navrhli, že dostačující počet kroků potřebných k získání stabilního výsledku je **15**.

1.1.3.5 Výběr typu modelu

V případě vytváření modelu lidské lokomoce se bude nejčastěji jednat o deterministický model, který vykazuje při opakování pokusu za stejných počátečních podmínek stejné chování. Deterministický model je charakteristický tím, že prvky a vztahy mezi nimi jsou pevně dány, a to na rozdíl od stochastického (pravděpodobnostního), ve kterém mají prvky nebo vztahy mezi nimi charakter náhodných jevů nebo náhodných veličin.

Modely lidské lokomoce lze v podstatě řešit pomocí dvou principů, které je vhodné kombinovat:

1. vytvoření modelu na základě kinematických řetězců,
2. vytvoření modelu na základě kritických míst v pohybu.

1.1.3.5.1 Kinematický model na základě kinematických řetězců

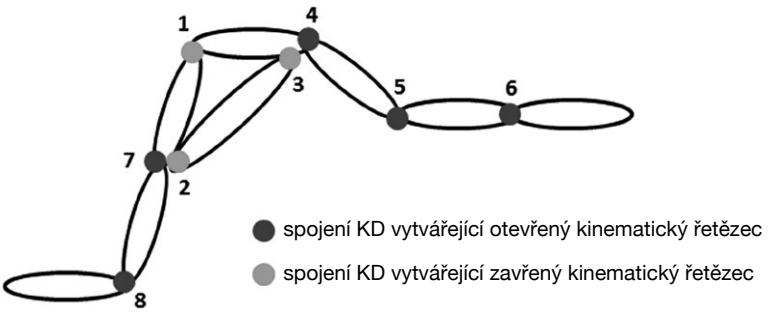
Prvky modelu tvoří kinematické řetězce. Kinematická analýza pracuje s ideálními objekty: dokonale tuhé těleso (člen) a kinematická dvojice.

Kinematický řetězec je tvořen několika tělesy (členy) spojenými (vázanými) kinematickými dvojicemi (vazbami, klouby).

Kinematické dvojice (KD)

Definujeme jako dva členy – segmenty vzájemně pohyblivě spojeny vazbou. V praxi rozlišujeme podle stupňů volnosti KD – rotační, posuvnou, valivou a obecnou.

Spojíme-li několik KD, vytváříme tím kinematický řetězec; ten je pro každý pohyb specifický, mění se i v průběhu složitějšího pohybového sledu. Podle zakončení řetězce rozeznáváme pohybové řetězce otevřené (poslední článek je volný, neobsahuje smyčku) nebo zavřené (není volného konce; Kovařík & Langer, 1994) nebo smíšená soustava KD, kde existuje smyčka, ale i poslední volné články (obrázek 7).



Obr. 7 Otevřený a zavřený kinematický řetězec

Vztahy mezi jednotlivým KD i řetězci jsou dány průběhem zvolených proměnných kinematických veličin v souvislosti s průběhem proměnných získaných pomocí dalších metod (EMG, dynamika…). Kinematický model znázorňujeme kinematickým schématem nebo

přidruženým grafem. V případě, že je sledovanou pohybovou aktivitou jistý druh lokomoce, bude se jednat o kinematické řetězce uzavřené, cyklicky se opakující. Analogii s KD a kinematickým řetězcem jsou v kineziologii pojmy svalová smyčka a svalový řetězec. Ty vycházejí z konkrétních anatomických funkčních vztahů, jsou definovány obecně (např. Véle, 2006) a jsou jistým východiskem pro popis modelu. Příklad kinematického řetězce při běhu ukazujeme na obr. 8 (viz barevná příloha).

1.1.3.5.2 Model vytvořený na základě kritických míst

Prvky tohoto typu modelu tvoří kritická (někdy také klíčová) místa v pohybu a na rozdíl od předchozích modelů je cílem modelu popsat pomocí proměnných veličin tyto prvky v průběhu sledované lokomoce. Vytváříme tím model, který lze aplikovat pro systematické pozorování (kvalitativní analýzu) v praxi.

Kritická (klíčová) místa (KM) lze charakterizovat jako ta místa v pohybové dovednosti, která rozhodují o její úspěšnosti (Knudson & Morrison, 1997). Pro kvalitativní analýzu je důležité **znát rozsah (limity, pásmo) správnosti kritických míst**, který určuje, zda výkon dovednosti bude ještě úspěšný nebo již neúspěšný. Tento rozsah (škála) bývá definován pro klíčové proměnné v každém KM.

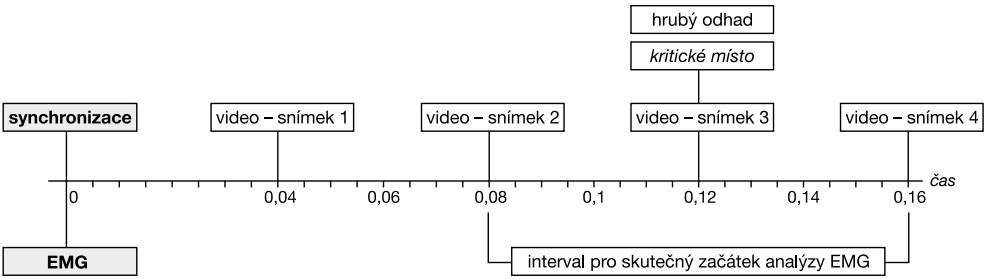
Pro určení kritických míst je možné **využít kvantitativních kinematických dat**, získaných pomocí různých metod měření nebo kinematických analýz v předchozích výzkumech. Další možností určení kritických míst je **využití generálních pohybových programů (GPP) pro analýzu sportovních dovedností.** Kreighbaum a Barthels (1990) velmi dlouho analyzovali pohyby založené na teoretických principech, které předpokládají, že mechanická účinnost výkonů v pohybových dovednostech v GPP má společné komponenty, ačkoli každá pohybová dovednost je ovlivněna jednoznačným omezením, které požadují všechny specifické aktivity. Mechanické principy jsou řízeny stejně ve všech skupinách GPP. Všechny dovednosti zařazené v GPP jsou jedinečné a jsou založené na tom, s jakou přesností a rychlostí se jednotlivé segmenty těla pohybují, aby byl výkon v této dovednosti efektivní. Ačkoli všechny specifické sportovní dovednosti patřící do GPP jsou mírně (individuálně) rozdílné v prostorových a časových podmínkách, základ v GPP a běžná kritická místa těchto dovedností jsou stejná. V důsledku toho jsou GPP a výsledná běžná kritická místa pohybu základem pro využití při analýze těchto dovedností.

1.1.4 Krok 4 – Měření

Samostatný proces měření musí být předem naplánován s ohledem na veškeré možné detaily, které se mohou v průběhu činnosti vyskytnout. Důležitým krokem je synchronizace metod.

Důvodem k synchronizaci metod je v praxi poměrně jednoduchá skutečnost. Chceme-li porovnávat časový průběh dvou proměnných, jejichž výsledky jsou znázorněny na časové ose získaných odlišnou metodou měření, musíme mít definovaný počátek časové osy, který je společný pro obě metody. Problémy spojené se synchronizací lze rozdělit do dvou částí. První je technický problém, který bývá řešen možnostmi a specifikací použitých nástrojů k měření. Měli bychom jej řešit již při výběru metod použitých k analýze lokomoce. Příkladem může být optická synchronizace více kamer při kinematických analýzách, často propojená se synchronizačním impulzem z EMG měřícího instrumentária. Při stejné frekvenci záznamu obou

přístrojů nebývá obvykle žádný další přidaný problém. Naopak nastává problém, spadající do druhé části problémů spojených se synchronizací v případech, kdy není možná stejná frekvence záznamu dvou odlišných měřících aparatur. Tento problém je pak nutno řešit pomocí matematických metod, vedoucích k analýze časových řad, například pomocí autokorelace. Pro názornost uvádíme příklad (schéma na obrázku 9) synchronizace videozáznamu s EMG záznamem.

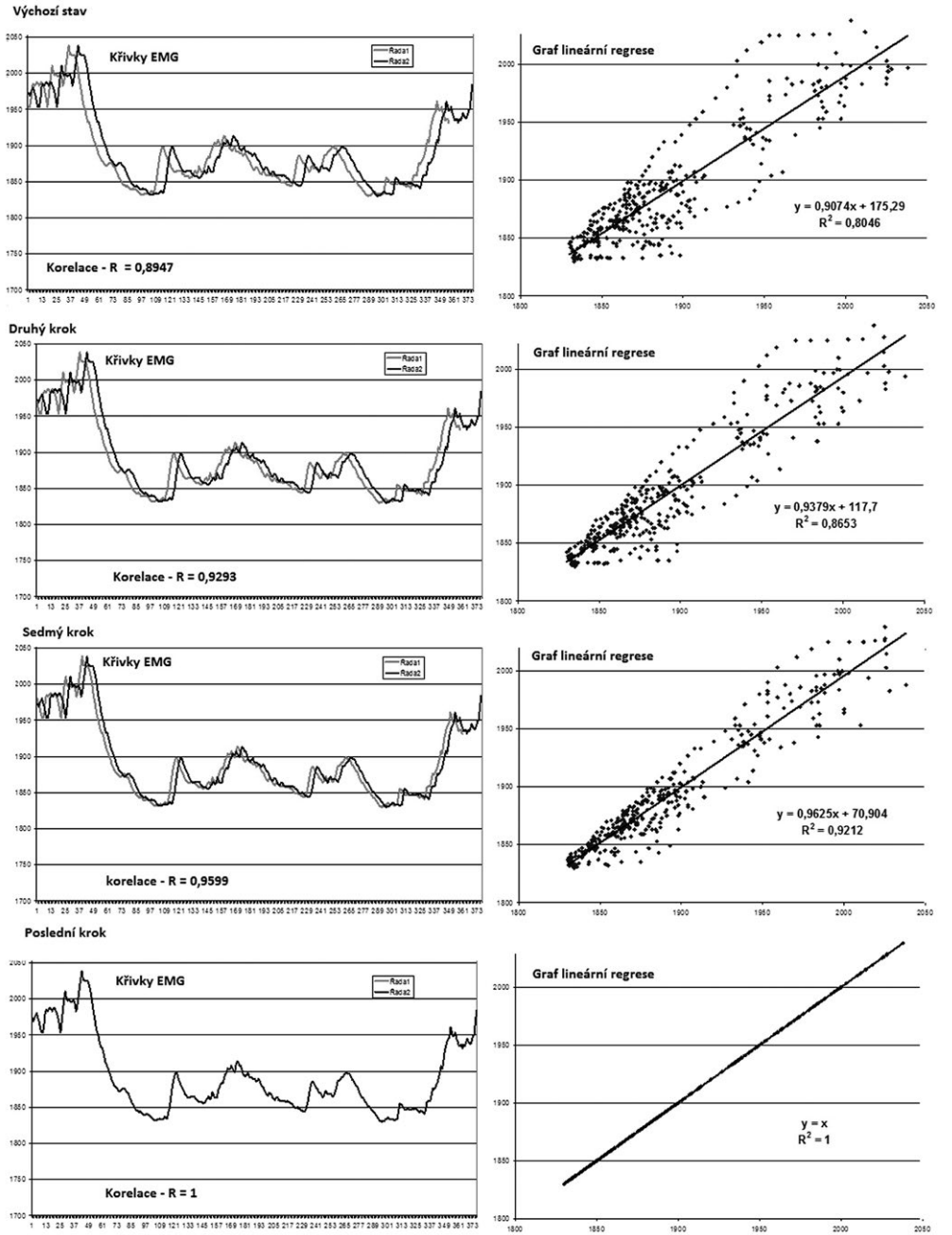


Obr. 9 Synchronizace videozáznamu s EMG záznamem

Videozáznam byl pořízen s frekvencí 25 Hz a EMG s frekvencí 200 Hz. Hrubým odhadem počátku pohybu (kritické místo) jsme určili snímek na videozáznamu označený jako „video – snímek 3“. Ve skutečnosti musíme počítat s chybou při označení kritického místa ± jeden snímek – tedy interval mezi snímky 2 a 4. V tomto intervalu leží skutečný začátek pohybu v jednom kroku, který při snímané frekvenci EMG obsahuje 16 záznamů elektrického napětí ve svalu. Abychom minimalizovali chybu odhadu a abychom dosáhli přibližně stejného počátku analýzy EMG u všech kroků, je nutné u jednoho kroku určit počátek analýzy a ostatní kroky k tomuto počátku přizpůsobit. Tím dosáhneme minimalizování chyby, která vznikne nemožností určit vždy stejně počátek pohybu. K tomuto „hledání“ stejného počátku pohybu využijeme například metodu analýzy časových řad pomocí autokorelace, kdy hledáme interval, kde záznamy EMG jsou nejvíce podobné. Autokorelace znamená hledání korelací mezi záznamy, které jsou vždy posunuty o jednu jednotku. Jinými slovy řečeno graficky posouváme jeden záznam vždy o jednu jednotku doprava. Cílem je najít časový okamžik, kdy je korelace výsledků maximální. Pro názornost uvádíme příklad (graf 1 s přiloženou tabulkou 1) využití této metody v případě, porovnáváme-li dva totožné záznamy s hypoteticky posunutým počátkem. V tabulce 1 ukazujeme, jak se mění hodnoty korelačního koeficientu, koeficientu determinace i regresní rovnice.

Tab. 1 Výsledky označené v tabulce šedým podtiskem odpovídají krokům na grafu 1

	R	**R^2**		**Regresní rovnice**	**R^2**
Výchozí stav	0,894706	0,800498		y = 0,9074x + 175,29	0,8046
2. krok	0,929376	0,86374		y = 0,9379x + 117,7	0,8653
3. krok	0,945249	0,893496		y = 0,9508x + 93,121	0,8938
7. krok	0,959982	0,921565		y = 0,9625x + 70,904	0,9212
9. krok	0,985799	0,971799		y = 0,9843x + 29,56	0,9709
11. krok	1	1		x = y	1



Graf 1 Příklad autokorelace dvou totožných výsledků + výsledky autokorelace

1.1.5 Krok 5 – Definování kroku

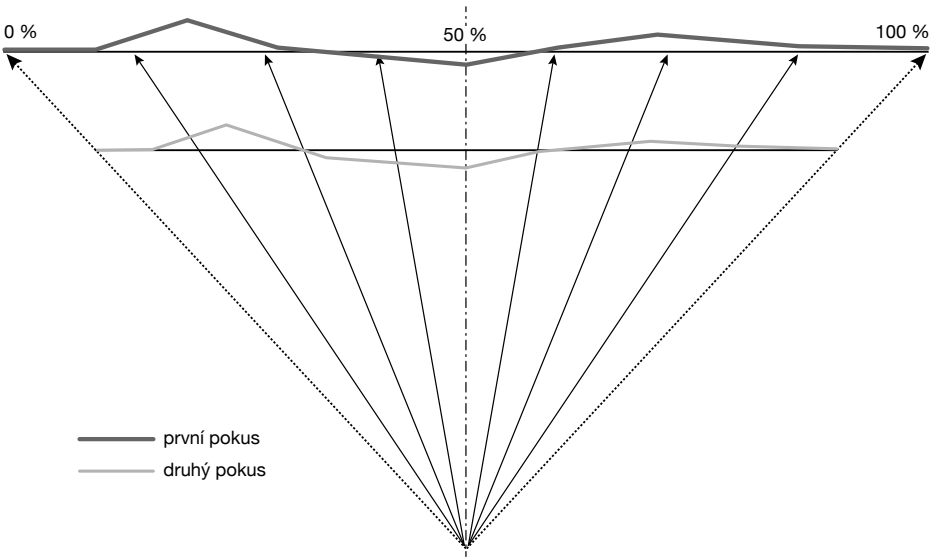
Vzhledem k tomu, že lokomoce má charakter cyklické dovednosti, kdy jednotlivé kroky se cyklicky opakují a vždy navazují jeden na druhý, je teoreticky možné popisovat jednotlivé kroky vždy od libovolného okamžiku v průběhu pohybu. Pro srovnání s jinými výzkumy i pro praxi je vždy nutné přizpůsobit definování počátku kroku obvyklým zvyklostem a postupovat stejně jako jiní výzkumníci či navázat na praktické zkušenosti a metodické pokyny například pro trénink sledované dovednosti. Jinou otázku musíme řešit, pokud je cílem analýzy pouze část (konkrétní fáze) pohybu. V této situaci je nutné explicitně definovat počátek i konec analyzované fáze. K tomu mohou být dobrým návodem již definovaná kritická místa v pohybu.

1.1.6 Krok 6 – Výběr sledovaných kroků

V této části výzkumu se jedná o rozhodnutí, které výsledky měření zahrneme do analýzy pro vytvoření modelu lokomoce. Jedná se o první výběr, který je nutné následně podrobit kritickému porovnání. První výběr musí splňovat kritéria, která byla stanovena při definování cíle výzkumu. Výběr provádíme na základě pozorování a analýzy videozáznamu lokomoce. Výběr musí být proveden tak, aby případné artefakty neovlivnily konečné výsledky analýzy lokomoce. Do výběru nezařazujeme části výsledků, které jsou ovlivněny například ztrátou rovnováhy, podklouznutím, zrychlením nebo zpomalením tempa lokomoce a podobně (k zaznamenání okolností měření by měl vždy sloužit režim doplňkových poznámek v protokolu měření). Součástí tohoto výběru by mělo být stanovení délky (časového trvání) jednotlivých kroků. Pro výběr jsou pak vhodné ty, jejichž doba trvání se liší nepatrně. Počet vybraných kroků by měl být minimálně o 5 kroků vyšší než požadovaný počet kroků pro analýzu. V dalším postupu pak vybereme kroky, ve kterých nedocházelo ke zkreslení výsledků vlivem vnějších podmínek, artefakty vzniklými měřící aparaturou apod. Z vybraných kroků zvolíme jeden, většinou se jedná o krok s průměrnou dobou trvání, který pak slouží jako jisté kritérium, ke kterému vztahujeme další postup.

1.1.7 Krok 7 – Normalizace hrubého skóre

Aby bylo možné inter i intra individuální porovnání výsledků, je nutné hrubé skóre získané pomocí výzkumných metod z měřící aparatury převést na normované výsledky, které nejsou již zatíženy chybou vzniklou například rozdílnou délkou jednotlivých kroků, mírně rozdílným nalepením elektrod a podobně. Normované výsledky jsou již bez rozměru, většinou se uvádějí v procentuální stupnici nebo s využitím procentilové škály a podobně. Grafické znázornění normalizace časové škály na procenta uvádíme pro názornost na obrázku 10. Nejčastěji uváděnou normalizací EMG signálu je procentuální normalizace pomocí maximální volní kontrakce (Konrad, 2001). Prakticky to znamená, že hledáme jistou hodnotu EMG signálu, kterou můžeme použít jako kritickou hodnotu, k níž vztahujeme výsledky měření elektrického potenciálu v průběhu pohybu ve vybraném svalu. Zcela pochopitelně lze použít naměřenou hodnotu při stejném umístění elektrod na kůži u sledovaného jedince. Hodnotu maximální volní kontrakce (MVC) měříme na počátku měření, a to před tím, než zahájíme měření EMG v průběhu pohybu. Polohy při měření MVC jsou standardizovány a odpovídají



Obr. 10 Princip časové transformace

polohám při svalovém testu (např. Véle, 2006). Pro zvýšení reliability měření test opakujeme třikrát s přestávkou minimálně v trvání 1 minuty mezi měřením.

1.1.8 Krok 8 – Odstranění šumu

Základní pojmy teorie měření

Při definování pojmů pro zkoumání pohybových dovedností vycházíme z *Mezinárodního metrologického slovníku* (2009), který definuje pojmy obecně tak, aby bylo možné srovnávat výzkumy na mezinárodní úrovni. Je nutné se zmínit, že tyto pojmy byly vytvořeny pro kategorii měření, nikoli pro zkoumaný objekt (subjekt) a vztahují se v případě zkoumání pohybových dovedností k procesu měření, tedy v přeneseném smyslu k metodám, které využíváme k deskripci pohybových dovedností.

Preciznost měření, preciznost: (*measurement precision*, *precision*) těsnost shody mezi indikacemi nebo naměřenými hodnotami veličiny získanými opakovanými měřeními na stejném nebo podobných objektech za specifikovaných podmínek.

Je obvykle vyjádřena číselně mírami nepřesnosti, např. směrodatnou odchylkou, rozptylem nebo variačním koeficientem za specifikovaných podmínek měření.

Z jazykového hlediska (podle *Slovníku spisovné češtiny*) je nejvýstižnější překlad termínů *accuracy – trueness – precision*:

- přesnost: jako míra souhlasu se skutečností, tj. s referenční hodnotou veličiny;
- správnost: mající patřičné vlastnosti v náležité míře, tj. měření (měřidlo) nemá systematickou chybu;
- preciznost: jako přesný, tj. precizní provedení měření.
  Termín „pravdivost“, jako obsahující pravdu, se jeví jako nejméně vhodný.

Podmínka střední preciznosti měření: podmínka měření ze souboru podmínek, který zahrnuje stejný postup měření, stejné místo a opakování měření na stejném nebo podobných objektech v rozšířené periodě času, ale smí obsahovat další podmínky zahrnující změny.

Změny mohou zahrnovat nové kalibrace, kalibrátory, obsluhu a měřicí systémy.

Opakovatelnost měření (*repeatability*): preciznost měření za souboru podmínek opakovatelnosti měření.

Podmínka opakovatelnosti měření: podmínka měření ze souboru podmínek, který zahrnuje stejný postup měření, stejnou obsluhu, stejný měřicí systém, stejné pracovní podmínky a stejné místo, a opakování měření na stejném nebo podobných objektech v krátké časové periodě.

Ukazatel opakovatelnosti r je hodnota, pro kterou se se specifikovanou pravděpodobností předpokládá, že pod ní leží absolutní rozdíl výsledků dvou nezávislých zkoušek získaných za podmínek opakovatelnosti.

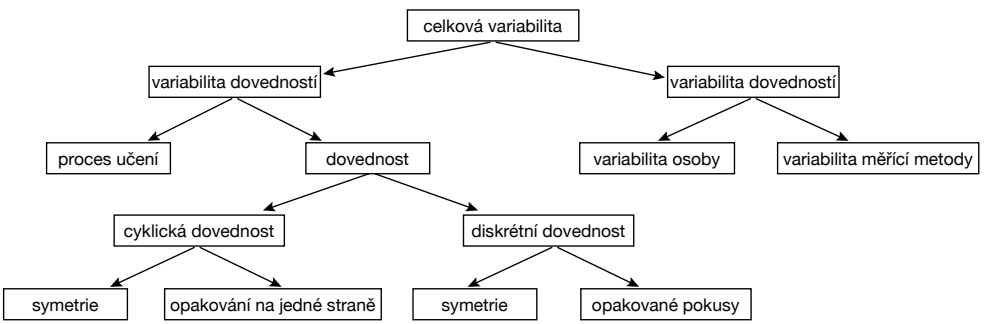
Reprodukovatelnost měření (*reproducibility*): preciznost měření za podmínek reprodukovatelnosti měření.

Podmínka reprodukovatelnosti měření: podmínka měření ze souboru podmínek, který zahrnuje různá místa, obsluhu, měřicí systémy a opakování měření na stejném nebo podobných objektech.

Pro ilustraci uvádíme podmínky opakovatelnosti dle ČSN ISO 3534-1(2004), které jsou platné pro technická měření. Jsou to tedy podmínky, kdy se navzájem nezávislé výsledky zkoušek získají opakovaným použitím téže zkušební metody na identickém materiálu v téže laboratoři, týmž pracovníkem za použití týchž přístrojů a zařízení v krátkém časovém rozmezí.

Mez opakovatelnosti r se vypočte jako 2,8-násobek směrodatné odchylky výsledků za podmínek opakovatelnosti. Mez opakovatelnosti r je spojována vždy s pravděpodobností 95%. Jestliže se vyjádří při jiné pravděpodobnosti, je nutné to vyznačit – např. r_{99} (ISO 5725).

Na základě těchto metrických definic definujeme pojem **variabilita (opakovatelnost) pohybových dovedností** následujícím způsobem: variabilita (opakovatelnost) pohybových dovedností je preciznost opakování pohybové dovednosti za podmínek opakovatelnosti.



Obr. 11 Struktura systému variability

Podmínka opakovatelnosti: opakování pohybové dovednosti stejnou osobou, se stejným cílem provedení, ve stejných vnějších podmínkách, stejným postupem měření, stejnou obsluhu, stejným měřicím systémem, na stejném místě v krátké časové periodě.

Mírou variability rozumíme koeficient variace a interval významnosti variability, který je definován na základě charakteru dovednosti a je nemožné jej stanovit univerzálně. Na obrázku 11 ukazujeme schéma zjednodušené struktury variability pohybových dovedností.

Pohybová variabilita jako šum

V souladu s tradiční teorií řízení lidského pohybu je MV (pohybová variabilita) přímo úměrná šumu (noise), který způsobí odchylku výsledného pohybu od pohybu předem plánovaného (Bartlett et al., 2007; Bays, Wolpert, 2007). Můžeme vyjádřit rovnicí [1].

$$[1] \quad V_e = V_{eb} + V_{ee} + V_{em}$$

Šum může způsobit změny při různých úrovních v průběhu pohybu. Mohou to být chyby v informacích, které subjekt získává prostřednictvím receptorů V_{eb}, změnou vnějších podmínek V_{ee} nebo chybou měřící procedury V_{em}. Princip šumu v souvislosti s variabilitou pokusů ukazujeme na schématu na obrázku 12, kde vidíme jednotlivé kroky, ve kterých může docházet ke zkreslení informací na základě šumu. Tento přístup má důležité implikace při vyšetřování (analýze) pohybu. Klade důraz na správný experimentální design a redukci dat (Bartlett et al., 2007). MV by měla být zkoumána předem s využitím několika biomechanických metod na adekvátním počtu opakování (Bates et al., 1992; Rodano & Squadrone, 2002; James et al., 2007; Preatoni, 2007).

Pohybová variabilita jako informace

Nedávné výzkumy ukazují, že myšlenka variability mezi jednotlivými pokusy (V_{tot}) nekoresponduje pouze s teorií šumu, ale je kombinací náhodné variability (V_e) (rovnice [1]) a funkčních změn, které mohou být asociovány vlastnostmi neuromotorického systému řízení motoriky (V_{nl}) (Hamill et al., 1999; Bartlett et al., 2007).

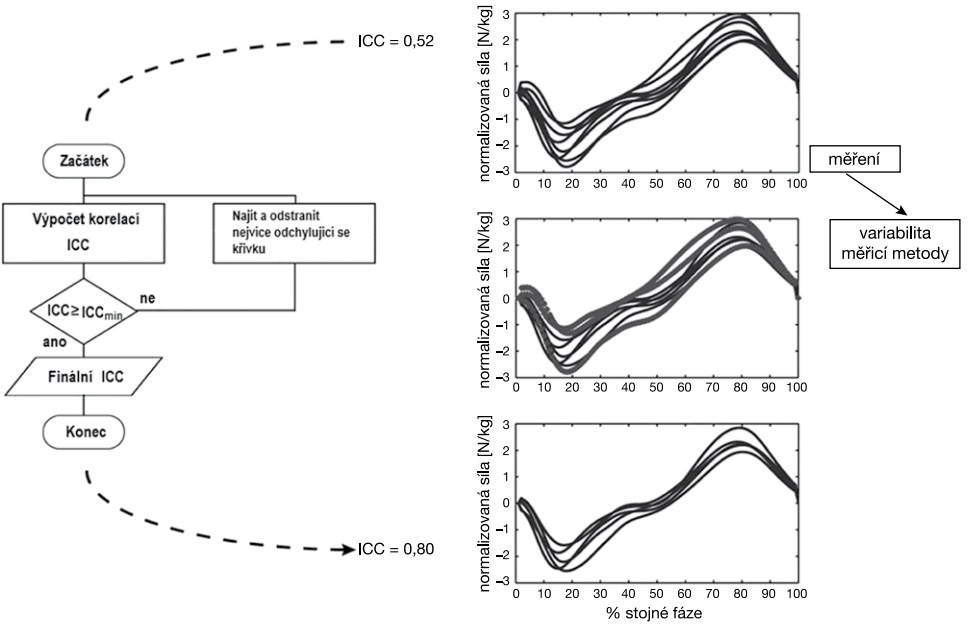
$$[2] \quad V_{tot} = V_e + V_{nl}$$

V_{nl} může být interpretována jako flexibilita řídicího systému, která umožňuje vybrat adekvátní řešení pohybu z různých pohybových vzorců uložených v paměti. Tato flexibilita poskytuje možnost učení se novým pohybům nebo možnost výběru ze známých vzorců vedoucí k adekvátnímu vyřešení pohybového úkolu. Člověk tak má možnost využít více stupňů volnosti při řešení pohybového úkolu, a tím získat kontrolu nad neočekávanou událostí (Hamill et al., 2005; Davids et al., 2006). Změny v jednotlivých parametrech V_{tot} (V_e a V_{nl}) mohou být přičítány změnám v pohybové strategii a mohou odhalit efekty pohybového učení, patologie v pohybu nebo efekty adaptace organismu (Dingwell et al., 2001; Bartlett et al., 2007).

Redukce dat

Pro odstranění šumu, tedy pokusů, které se odchylují z nějakých důvodů příliš od průměru, a došlo by kvůli nim ke zkreslení celkového popisu lokomoce, postupujeme podle doporučení některých autorů – například Rodano & Squadrone (2002); James et al. (2007); Preatoni,

(2013) – využitím korelační analýzy. Principem je hledání vnitrotřídního koeficientu korelace (ICC – *Inter class correlation*), který ukazuje, nakolik se liší hodnoty na úrovni jednotlivých pokusů a nakolik vcelku. Postup je znázorněn na obrázku 12.



Obr. 12 Postup při odstraňování šumu pomocí ICC. Upraveno podle Preatoni et al. (2013)

Po odstranění křivky nejvíce odchylující se od průměru (korelační koeficient je nejnižší) spočteme znovu vnitrotřídní korelaci, a pokud je ICC nedostatečná, postup opakujeme.

1.1.9 Krok 9 vytvoření modelu – Matematický a kineziologický popis modelu

Posledním krokem je syntéza poznatků z jednotlivých měření, tedy vytvoření modelu na základě popisu dílčích proměnných. Netýká se pouze syntézy popisu, ale jedná se o hledání vztahů mezi proměnnými s cílem najít příčinné vztahy mezi výsledky proměnných veličin. K tomu je vždy nutný dvojí přístup. Z pohledu moderní terminologie bychom mohli první přístup nazvat digitálním a druhý analogovým. Digitální, kvantitativní přístup zahrnuje metody matematického popisu a hledání vztahů na základě statistiky, matematické analýzy, ale i geometrie a podobně. Druhý, analogový – často mylně spojovaný s pojmem kvalitativní – vysvětluje výsledky z pohledu kineziologie a opírá se o obecně známé principy funkce opěrného a hybného systému člověka a především o princip neuromuskulárního řízení pohybu.

Při popisu modelu lokomoce by neměly chybět základní parametry, mezi které patří celková doba trvání jednotlivých kroků, doba kontaktu se zemí, délka kroku, případně doba letové fáze a jejich analogie při lokomoci v jiném prostředí – plavání, veslování, pádlování a jiné. Tyto parametry se využívají k hodnocení variability kroků, symetrie chůze, pravidel-

nosti… Jako míra těchto ukazatelů se využívá směrodatná odchylka (SD), variační rozpětí (var X), koeficient variace (CV = SD.100/průměr), fraktální index (*fractal scaling index*) FSI a různé druhy indexu symetrie. Mezi používané koeficienty popisující symetrii pohybu patří následující:

$$\text{RI } (\textit{Ratio Index}) = \left(1 - \frac{Xr}{Xl}\right) * 100\ \%$$

$$\text{SI } (\textit{Symetry Index}) = \frac{|Xl - Xr|}{0{,}5 * (Xl + Xr)} * 100\ \%$$

$$\text{GA } (\textit{Gait Asymetry}) = \ln\left(\frac{Xr}{Xl}\right) * 100\ \%$$

$$\text{SA } (\textit{Symetry Angle}) = \frac{45^{\circ} - arctg\left(\frac{Xr}{Xl}\right)}{90^{\circ}} * 100\ \%$$

Všechny tyto uváděné indexy vycházejí ze stejného principu podílu odpovídajících proměnných na pravé a levé straně těla v průběhu pohybu.

V tabulce 2 uvádíme rozdíl mezi hodnotou jednotlivých koeficientů symetrie v hypotetickém případě, kdy se délka kroku mezi pravou a levou dolní končetinou liší o 0,1 m.

Ukazuje se, že koeficienty symetrie nabývají různých hodnot a že při porovnání s výsledky jiných studií je vždy nutné porovnávat stejně definované koeficienty symetrie. Normativní hodnoty pro chůzi uvádí například Błażkiewicz, Wiszomirska & Wit (2014), jejich výsledky uvádíme v tabulce 3.

Tab. 2 Koeficienty symetrie

Délka kroku		**Koeficienty symetrie**			
levá [m]	pravá [m]	RI	SI	GA	SA
1,5	1,4	6,67	6,9	6,9	2,19

Tab. 3 Normativní hodnoty SI (upraveno podle Błażkiewicz, Wiszomirska & Wit, 2014)

	Vysoká	**Normální**		**Nízká**
	0–25	**25–50**	**50–75**	**75–100**
Trvání kroku [%]	≤ 0,81	0,82–2,24	2,25–4,21	4,22 ≤
Fáze stoje [%]	≤ 1,57	1,58–3,04	3,05–5,21	5,22 ≤
Průběh reakce [%]	≤ 0,82	0,83–1,84	1,85–3,27	3,28 ≤
Jednooporové postavení [%]	≤ 3,85	3,86–7,09	7,10–14,95	14,96 ≤
Single support [%]	≤ 1,70	1,71–3,45	3,50–6,67	6,68 ≤
Příprava na švih [%]	≤ 2,38	2,39–6,34	6,35–11,77	11,78 ≤
Švihová fáze [%]	≤ 1,39	1,40–3,12	3,13–3,51	5,32 ≤

Kapitola *Monitorování lidské lokomoce* ukázala některá úskalí a jejich řešení při snaze o objektivizaci parametrů lidské lokomoce. V této souvislosti je ovšem dlužno říci, že užití metrických dat, byť získaných na základě přísného dodržování pravidel objektivizačního výzkumu, je zatíženo vysokou mírou skepse. Důvodem je skutečnost, že lidské tělo není mechanický či automatický stroj a že každý člověk je strukturou i funkcí své pohybové soustavy originálem. Byť originálem pohybujícím se v rámci mantinelů lidského druhu, ale se svojí individuální odlišností. Proto pro vysvětlování fenomenů lidské lokomoce považujeme za nejdůležitější bádání v oblasti koordinace pohybu, a ne pouze získávání absolutních metrických dat, nejlépe však kombinaci více výzkumných metod.

Další kapitola se již bude věnovat vývoji živočišných druhů postupně směřujících k rodu *Homo* a jejich lokomočnímu chování.

2 POČÁTKY EVOLUCE SUCHOZEMSKÝCH OBRATLOVCŮ

V této kapitole budou sledovány počátky evoluce živočišných druhů dobývající souš, a to s akcentem na formu jejich lokomoce.[1] Jak bylo řečeno, jedná se o dobu středního a spíše pozdního devonu před přibližně 405–360 miliony let. V této době se utvářely hlavní principy pohybu po souši. Kapitola pomůže ujasnit pozici ramenního pletence člověka v kontextu fylogeneze lokomoce suchozemských tetrapodů. Následující kapitola o fylogenezi lokomoce prehumánních primátů i vývojových větví směřující k *Homo sapiens sapiens* (7–6 milionů let) pak pomůže obdobně zařadit pletenec pánevní do fylogeneze lokomoce primátů.

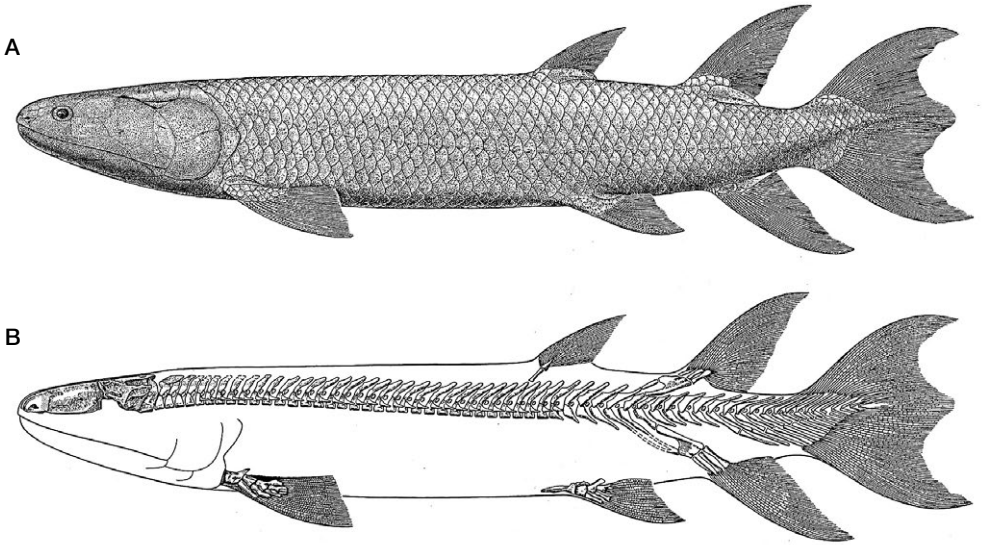
Rozhodujícím mezníkem pro lokomoci člověka realizovanou pletencem ramenním je tedy devonský přechod obratlovců z vody na souš a s tím spojená transformace párových ploutví vodních obratlovců v končetiny pro pohyb na pevném povrchu. Transformaci párových ploutví souhrnně popisuje Köppl (2009) a je dle Gregory & Raven (1943) ilustrována na příkladech rekonstruované podoby na obrázcích 13, 14.

Young, George i Blieck uvádějí, že v uvažovaném období středního a pozdního devonu byla nastartována kolonizace souše budoucími suchozemskými kvadrupedy (Young, 2006; George, 2011; Blieck et al., 2007). Vývoj vodních obratlovců vrcholil v jejich nejvyšší formě tzv. lalokoploutvých nebo dvojdyšných ryb.

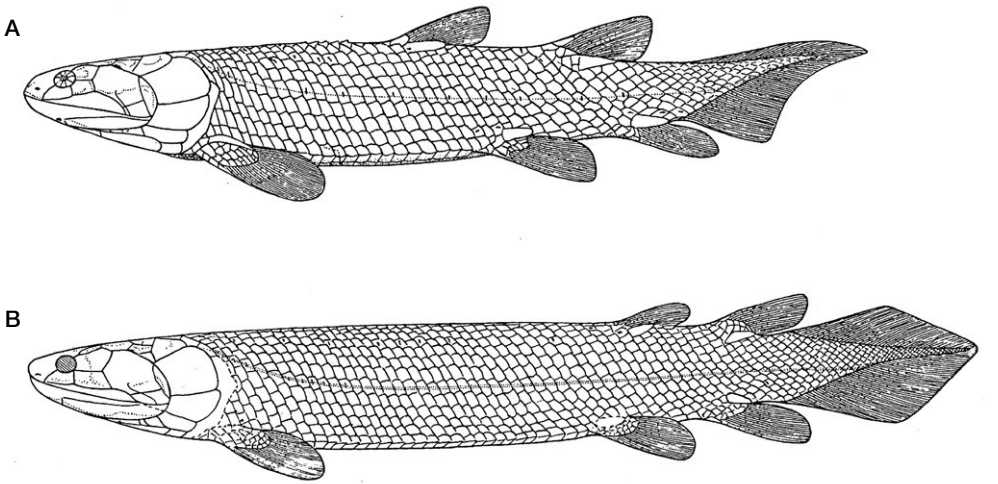
Dodnes se *in vivo* dochovala jedna vývojová větev *Neoceratodus forsteri* (bahník australský) – lalokoploutvé ryby, jejichž paleolontologickými představiteli byli například *Eusthenopteron fordi* (Jarvik, 1948) na obrázku 13 nebo *Osteolepis macrolepidota* či *Gyroptychius agassizi* na obrázku 14.

---

[1] Kapitola úzce souvisí s dávným sporem kreacionistů a evolucionistů. Kreacionisté vysvětlují vznik člověka i vývojově nižších forem živočišných druhů zásahem uvědomělého subjektu, vyšší moci, inteligentního designera a využívají ke svému výkladu světa různých náboženství pracujících se stvořením, kreací světa. Požadují pro vyvrácení svého paradigmatu, aby evolucionisté, tedy zastánci teorie evoluce živočišných druhů (původně dle Darwina, dnes vyznavači tzv. postneodarwinismu), viz Patsiaouras & Fitchett (2009), přinesli důkaz v podobě longitudinální vývojové řady obratlovců. To se samozřejmě nemůže podařit, jak uvádí Flégr (2006) i Uhlíř (2007), protože paleolontologické nálezy v podobě otisků kostěné stavby dávných živočichů v horninách jsou velice sporé a historickými vlivy z valné většiny ztracené. Přesto vzniká určitá mozaika, která zřejmě nikdy nebude kompletně vyplněna, ale přesto čím dál více poukazuje na určité vývojové trendy. Vždy se však naleznou bílá místa využitelná pro sakrální spekulace. Následující text se tak vlastně bude týkat i rozhodujícího střetu názorů kreacionisticko-evolucionistických, tedy okamžiku přechodu vyšších živočišných druhů (obratlovců) z vody na souš, ačkoliv tento střet názorů na vznik a vývoj člověka již nebude v textu dále zmiňován.



Obr. 13 Paleontologická rekonstrukce jedince *Eusthenopteron fordi* (Jarvik, 1948)

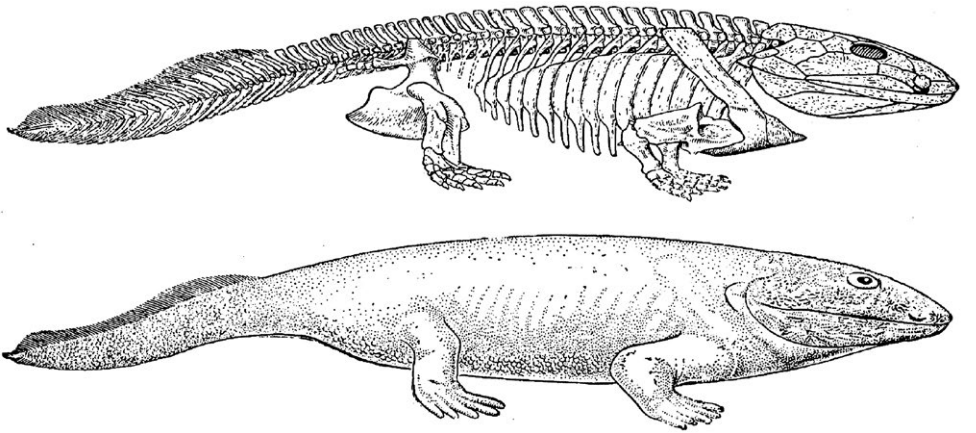


Obr. 14 Paleontologická reskonstrukce druhu *Osteolepis macrolepidota* – A; *Gyroptychius agassizi* – B dle paleolontologických otisků jedinců nalezených ve Skotsku (Jarvik, 1948)

Tato skupina ryb z nadřádu lalokoploutvých byla považována za vyhynulou již koncem prvohor, ale 22. 12. 1938 byla v západním Pacifiku z hloubky 200 m vytažena ryba patřící do této skupiny, která byla pojmenována latimérie podivná (někdy se odlišuje ještě jeden druh – latimérie indická). Jméno skupiny vychází z tvaru ploutví, které mají odlišnou stavbu od současných ryb a již připomínají stavbu končetiny čtyřnožců. Tato končetina zřejmě

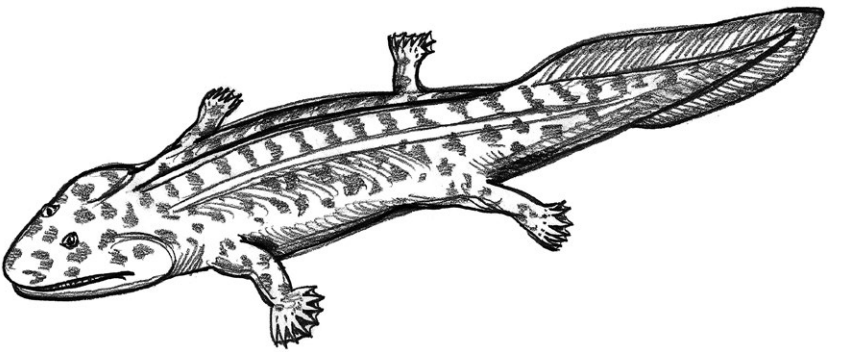
umožňovala lezení po dně. Podle podobnosti končetin, přítomnosti vnitřních nozder, podobné stavby lebky, plicních vaků a podle podobnosti zubů je tato skupina pokládána za předchůdce obojživelníků. Označují se také jako ryby dvojdyšné.

První nálezy raných tetrapodů přinesly objev živočišného druhu, který byl podle dřívějších hledisek vývojově velmi blízký lalokoploutvým rybám. Druh *Ichthyostega* (obrázek 15), objevený v Grónsku, 1,5 m dlouhý primitivní obojživelník pravděpodobně velkou část života trávil ve vodě.



Obr. 15 Paleontologická rekonstrukce primitivního tetrapoda *Ichthyostega soederberghi* s odhadem délky 1,5 m (Jarvik, 1948)

Měl poměrně flexibilní ramenní pletenec, ale omezeně pohyblivý loketní spoj dovoloval jen poměrně malý předozadní pohyb, který připomíná pádlování (Romer, 1967). Žil ve stejné době jako druh *Acanthostega* (viz obrázek 16) objevený později (komplexní rekonstrukce primitivního obojživelníka nemohla být na základě sporadického paleontologického materiálu provedena; Callier et al. 2009; Clack 2011). Fosilní nálezy naznačují, že by se mohlo jednat o živočicha s proudnicovitým, asi 60 cm dlouhým tělem. Páteř měl vlastnostmi velmi podobnou hřbetní struně, a i když byla složená z izolovaných obratlů, zapadaly velmi těsně do

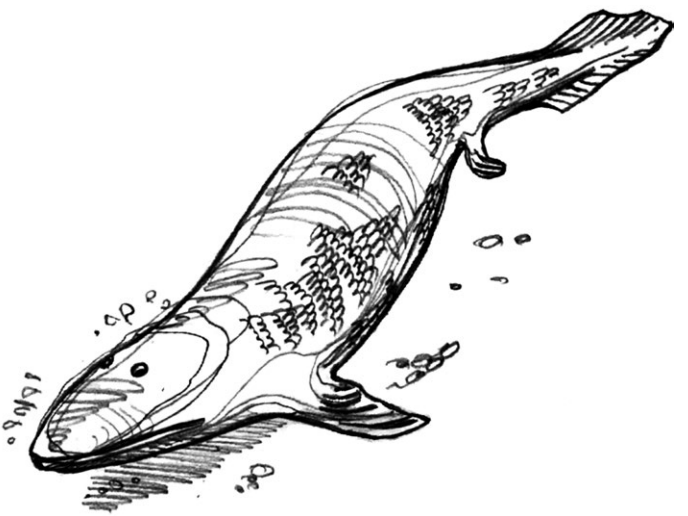


Obr. 16 Spekulativní odhad podoby *Acanthostega gunnari* (upraveno podle Callier et al., 2009)

sebe, takže tvořily pružný, i když ještě poměrně rigidní sloupec. *Acanthostega* měl končetiny, jejichž stavba a prostorová orientace ještě nedovolovaly chůzi po souši (Clack, 2002; Coates 1994, Daeschler & Shubin, 1995).

Sluchový aparát druhu *Ichthyostega* i další jedinečné znaky poukazují na život ve vodním prostředí. Další znaky jako stavba páteře, žeber a končetin spíše poukazují na suchozemský život. Zatímco fosilie druhu *Ichthyostega* ukazují na sedmiprstou nohu, druh *Acanthostega* měl osmiprstou, resp. zřejmě přední šestiprstou a zadní osmiprstou nohu (Schultze, 1991; Clack, 1989; Clack, 2002). Celkově bylo u paleolontologického nálezu druhu *Acanthostega* nalezeno více primitivnějších znaků, lokalizující jeho život více do vodního prostředí (jako je například ploutevní paprsek kolem horního a dolního lemu ocasu, žábry, ale i vzduchový měchýř) než u jeho přibližného současníka, druhu *Ichthyostega*.

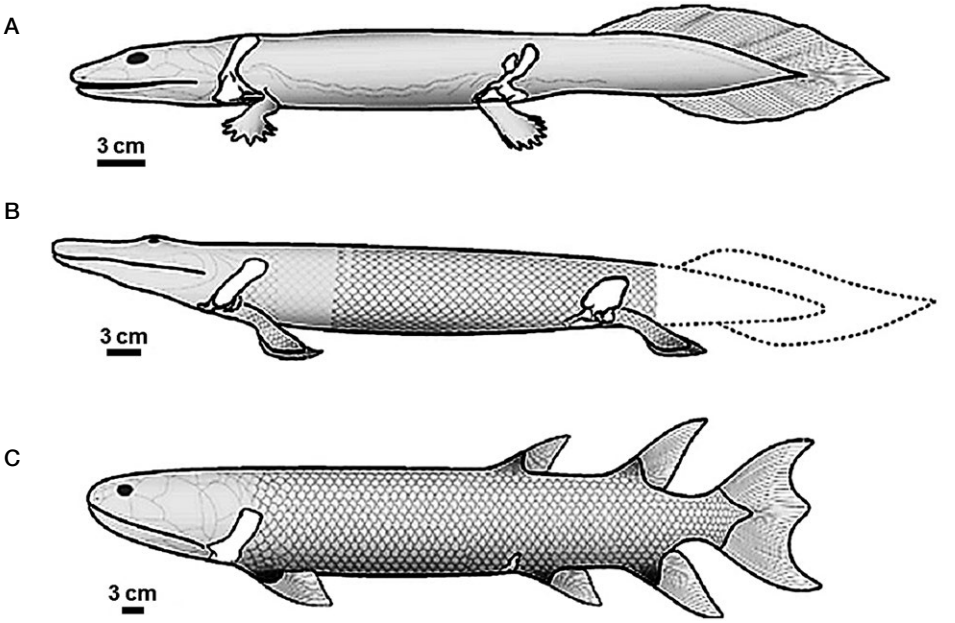
Tyto znaky tak řadí druh *Acanthostega* vývojově před druh *Ichthyostega*. Existuje však řada protichůdně vypovídajících specifických znaků, které dokumentují nelinearitu evoluce živočišných druhů. Třmínek v ušním aparátu druhu *Acanthostega* směřoval na rozdíl od druhu *Ichthyostega* spíše k suchozemským tetrapodům, přední končetiny byly stále uzpůsobeny více pro vodní prostředí. Bezesporu zatím nejvíce univerzálním spojovacím článkem vodních obratlovců (plagiosmat, paryb a moderních ryb) a suchozemských tetrapodů je druh *Tiktaalik*, nalezený v Kanadě (Shubin et al., 2006; Shubin, 2008), přibližně zpodobněný na obrázku 17.



Obr. 17 Spekulativní odhad podoby *Tiktaalik* (upraveno podle Shubin et al., 2006, archiv autorů)

Paleontologický nález ze svrchního devonu řadí druh *Tiktaalik* dle většiny specifických znaků mezi ryby. Pletenec ramenní (lopatkový) je stále ještě napojen na lebku a žaberní oblast je dokonce ještě více kostně podpořena než například u lalokoploutvé ryby *Panderichthy* (o nelinearitě evoluce již byla zmínka výše). To znamená potvrzení života ve vodě (Boisvert, 2005).

Aktualizaci poznatků o druhu *Tiktaalik* přináší Shubin et al. (2013), kde podle posledních nálezů rekonstruuje i pánevní pletenec druhu *Tiktaalik*. Na obrázku 18 jsou naznačeny pánevní pletence u druhů *Eusthenopteron (C), Tiktaalik (B) a Acanthostega (A)*.



Obr. 18 Ramenní a pánevní pletence protagonistů přechodu obratlovců z vody na souš (Shubin et al., 2013)

Lze shrnout, že za předchůdce dnešních tetrapodů je podle současných znalostí považován obojživelník *Acanthostega gunnari* a za přechodovou formu je považován *Tiktaalik*.

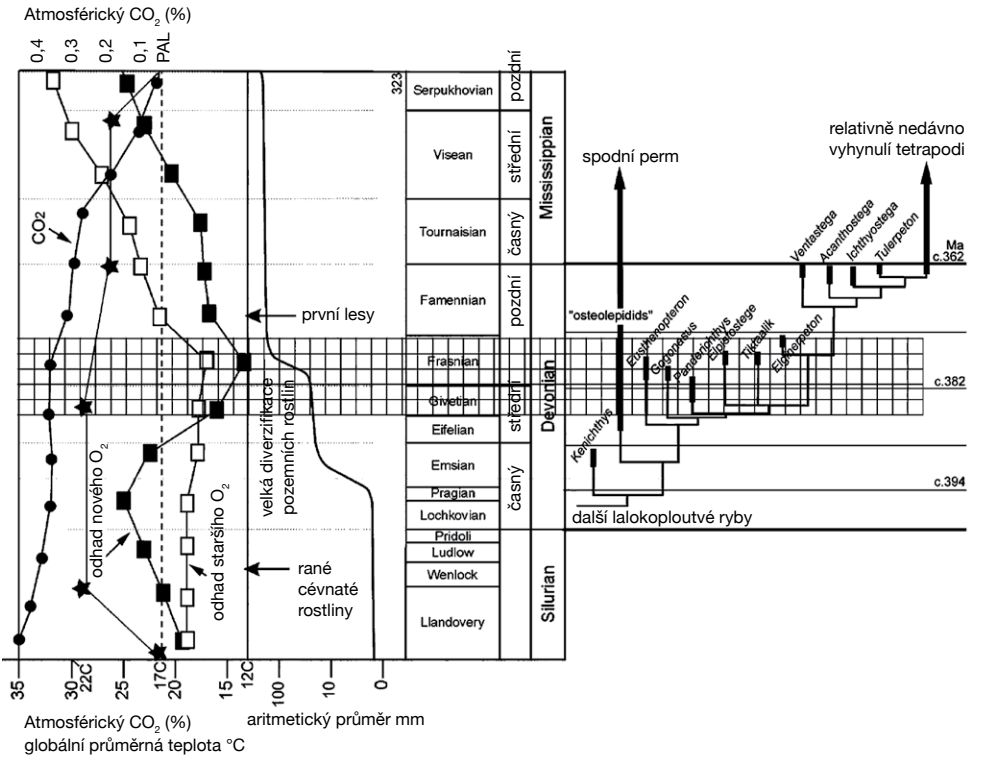
Vývojová linie transformujících se vodních živočichů na živočichy suchozemské přibližně datovaná do doby před asi 400 miliony let je tedy dle současných paleontologických nálezů tvořena následně:

… → *Eusthenopteron* a další lalokoploutvé ryby → *Tiktaalik* → *Acanthostega* × *Ichthyostega* → *Tulerpeton* → ...

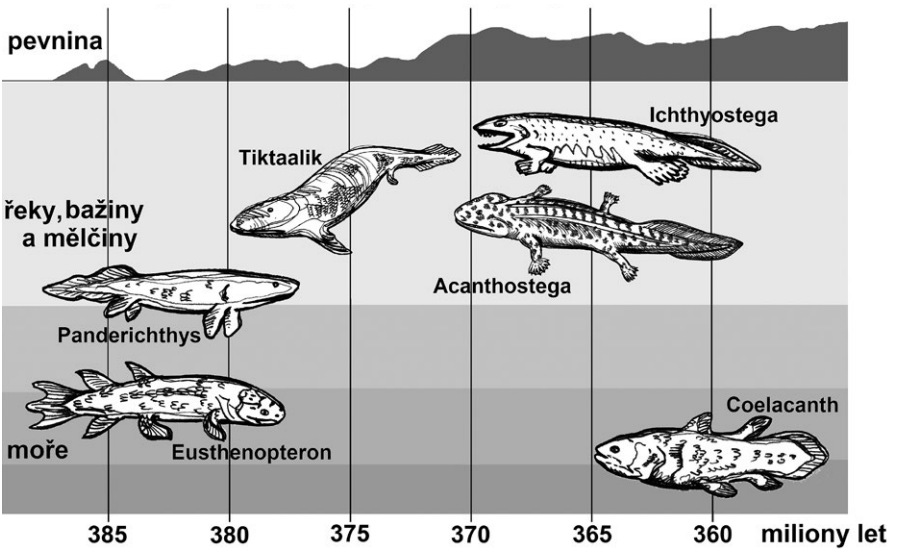
Toto hrubé pořadí vyplývá ze shrnující studie Laurin (2011).

Clack (2007) systematizuje přechodovou fázi obratlovců z vody na souš v kontextu s dynamikou atmosférických plynů CO_2, O_2 v grafu 2.

Primitivní obojživelníci *Acanthostega* i *Ichthyostega* mají zachovaný ocasní ploutvový lem, vodní prostředí bylo pro ně proto dominující. U končetin chybí karpální a tarzální segmenty. To znamená, že oba obojživelníci nemohli ohýbat terminální segmenty končetin a nemohli prostřednictvím addukce končetin pod trup (viz dále) zvedat tělo. Jejich pohyb na souši mohl být proto pouhým posunem těla plazením, který dnes částečně vidíme například u krokodýlů nebo mořských obřích želv (*Geochelone nigra*) při jejich pohybu na pláži při kladení vajec (Dylevský, 2007 dle jiných zdrojů). Stejný princip pohybu však nacházíme i u člověka. Dítě, které do začátku druhého měsíce extrauterinního života ještě nezahájilo proces lidské posturálně pohybové ontogeneze vedoucí k bipedii, se při aplikaci Vojtovy reflexní lokomoce pohybuje podle podobného pohybového programu (Vojta & Peters, 1995; Kračmar, 2002). Pro názor, že druh *Ichthyostega* byl opravdu prvním živočichem, u kterého docházelo k významnému pohybu na souši, hovoří skutečnost, že vznikly adaptace vyplývající z plného působení zemské gravitace bez podpory hydrostatického tlaku ve vodním prostředí. Podle



Graf 2 Systematizace přechodové fáze obratlovců z vody na souš v kontextu s dynamikou atmosférických plynů CO_2, O_2 (Clack, 2007)

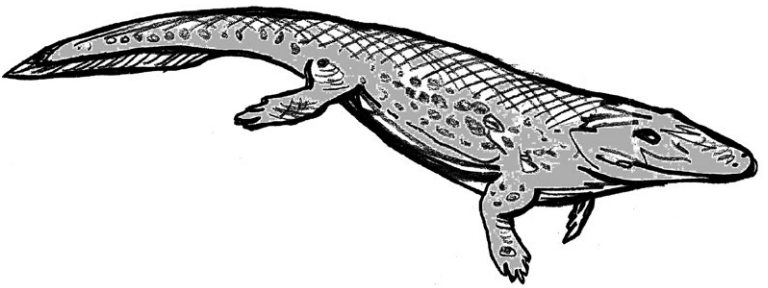


Graf 3 Lalokoploutvé ryby a obojživelní tetrapodi pozdního devonu (upraveno dle Shubin et al., 2013)

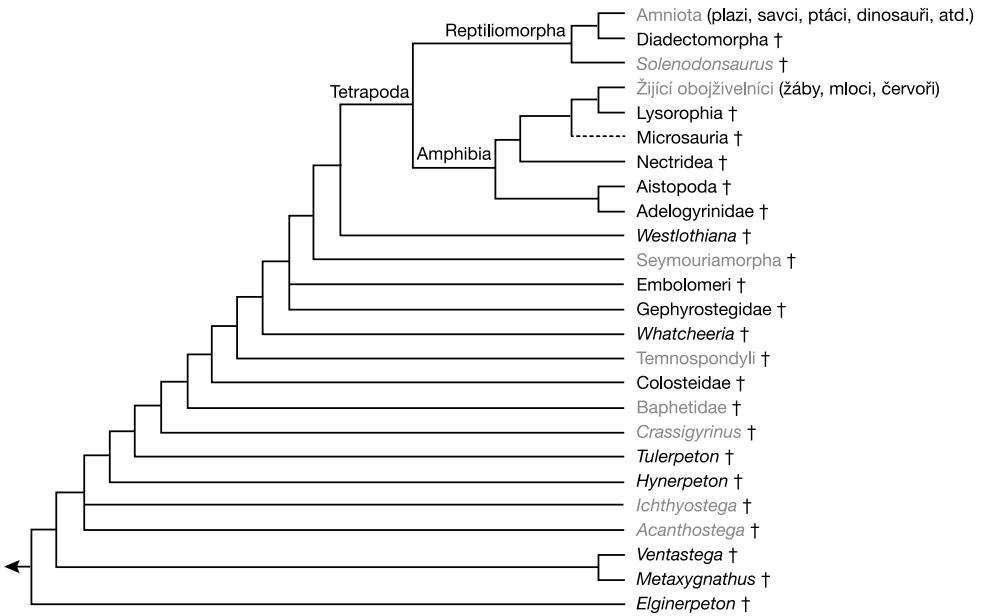
Romera došlo k evolučnímu paradoxu: výsledkem trendu lalokoploutvých ryb udržet se ve vodním prostředí v biotopech vysychajících a mělkých vodních ploch se stala „paradoxní" adaptace na život na souši. Končetiny měly za úkol transportovat živočicha do míst, kde voda dosud nevyschla. Nejúspěšnější byli zejména nedospělí jedinci (Romer, 1967).

Další lokomoční vývoj protagonistů dobývajících souš ukazuje graf 3 (Shubin et al., 2013).

Z paleontologických nálezů vyplývá, že u obojživelníka druhu *Ichthyostega* došlo k významnému sagitálnímu nárůstu obratlových výběžků, který koresponduje s nároky lokomoce v suchozemském prostředí, tedy při plném působení gravitace (Kuo, Donelan & Ruina, 2005). Podle současných názorů je vývojovým následovníkem druhu *Ichthyostega* druh *Tulerpeton*.



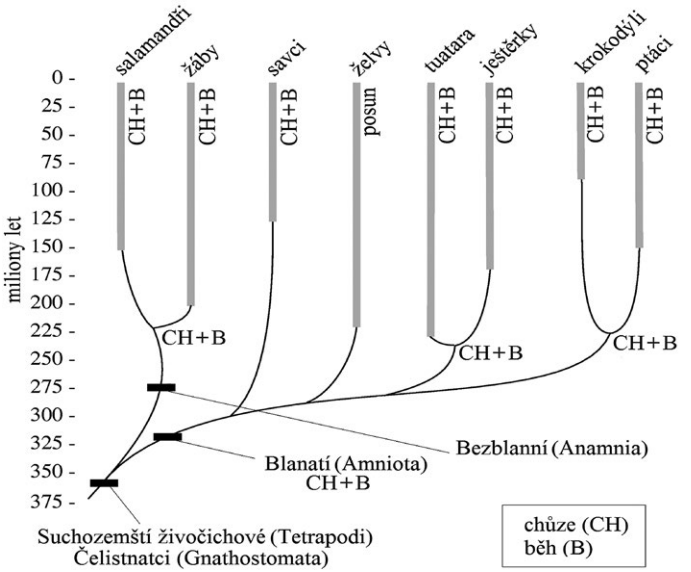
Obr. 19 Spekulativní odhad podoby obojživelníka *Tulerpeton* (archiv autorů)



Graf 4 Aktuální pohled na vývojovou řadu obratlovců osídlujících souš. Šedé názvy označují druhy dokázané, černé popisky druhy spekulativní. Křížek přísluší druhům a rodům vyhynulým. Kurzíva vyjadřuje míru spekulace (Laurin, 2011).

Jeden z aktuálních pohledů na taxonomii obratlovců dobývajících souš ukazuje na grafu 4 Laurin (2011).

Termín lokomoce živočichů vyjadřuje přemísťování se živočichů z místa na místo prostřednictvím své vlastní pohybové soustavy. U nižších živočichů je prováděno například prouděním protoplazmy (měňavka), reaktivním pohonem (sépie) nebo stahy svalů u větších živočichů. Podle prostředí, ve kterém se pohyb provádí, se rozeznává hlavně chůze (běh), plavání nebo let. Pro suchozemské tetrapody jsou výkonným orgánem lokomoce končetiny, generující převážně chůzi a běh, jak ukazuje graf 5.



Graf 5 Vývoj chůze a běhu v pohybovém principu suchozemských tetrapodů (Reilly et al., 2006). Šedé pruhy označují nejstarší známou podobu živočichů adekvátní morfologicky podobným dochovaným formám (Estes & Rieg 1973; Rest et al., 2003; Gao & Shubin 2001; Parchmanu et al 2003; Ji et al., 2002). Rozdvojení linií naznačují odhadovaná období divergence hlavních skupin tetrapodů (Rest et al., 2003). Mechanické vzory lokomočních pohybů známých dochovaných forem (Cavagna et al., 1977; Farley & Ko, 1997; Ahn et al., 2004; Willey et al., 2004) jsou dichotomně definovány jako chůze a běh v kontextu obou forem lokomoce krokodýlů (Renous et al., 2002). U želv přichází v úvahu i pohyb ve vodním prostředí pomocí synchronní činnosti předních končetin transformovaných do podoby ploutví (karety), jak bude ukázáno dále. Podobná je situace u ptáků a některých savců.

Na podkladě lokomoce rodu *Tuatara* a mloků dokládají Reilly et al. (2006), že chůze i běh jsou původní lokomocí tetrapodů.

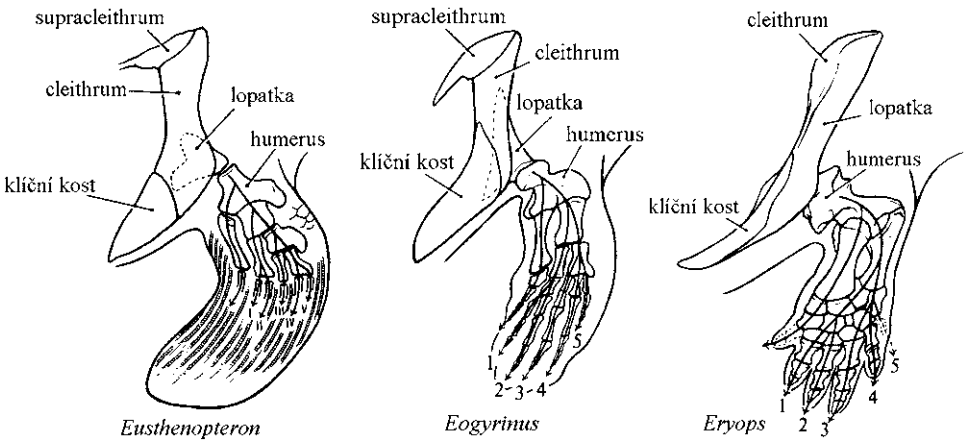
2.1 VZNIK KONČETIN SUCHOZEMSKÝCH TETRAPODŮ

Vznik končetin suchozemských obratlovců byl odstartován transformací párových ploutví v končetiny (Vorobyeva, 2009). Dělo se tak v přesněji nedefinovatelných fylogenetických

situacích a podmínkách. O příčinách je možné pouze spekulovat, přičemž jedna z teorií zmiňuje lokomoci v mělké vodě (Pridmore, 1995; Köpl, 2009).

Bez ohledu na důvody transformace je ale jasným výsledkem evoluční posun a transformace párových ploutví v končetiny. Tato skutečnost je v odborných kruzích historicky již dlouhodobě respektována (Gregory & Raven, 1942).

Evoluci končetin shrnul Jarvik (1996), dle něj později Dylevský (2007). Shodně uvádějí (Dylevský evidentně vychází z Jarvika), že se rozhodujícím způsobem lišila evoluce předních a zadních končetin a pletenců ramenního a pánevního. Přední končetiny byly zpočátku napojeny na zadní okraj lebky v zadní části mandibuly. Pohyblivost na souši vyžadovala nutnost oddělení kosti pletence od lebky, osamostatnění předního pletence, zmnožení počtu elementů pletence (především zavedení funkce karpálních a tarzálních segmentů) a jeho posunutí kaudálním směrem. Podle aktuálních poznatků byl již u obojživelníků pletenec ramenní kotven k trupu pouze svalovým závěsem (Clack et al., 2012). Prudký rozvoj ramenního pletence a transformace předních párových ploutví na přední končetiny z evolučního hlediska je znázorněn na obrázku 20.

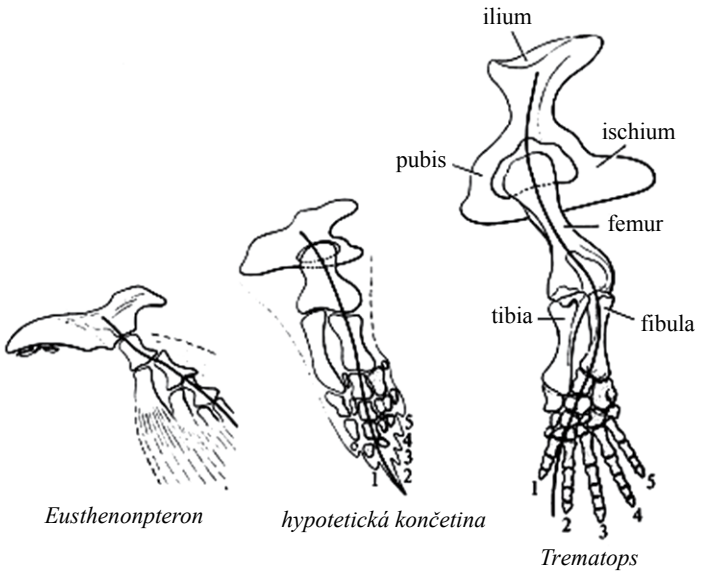


Obr. 20 Transformace pletence ramenního a přední párové ploutve na přední končetinu (Gregory & Raven, 1943)

V porovnání s pletencem ramenním je pánevní pletenec evolučně relativně stabilní. Zadní končetiny jsou k trupu připojeny horizontálně uloženým pánevním pletencem, který v průběhu ontogeneze osifikuje chondrogenně (Clack, 2009). Pletenec se napojuje na příčné výběžky křížových obratlů. Evoluce pletence pánevního z období přechodu obratlovců na souš je znázorněn na obrázku 21.

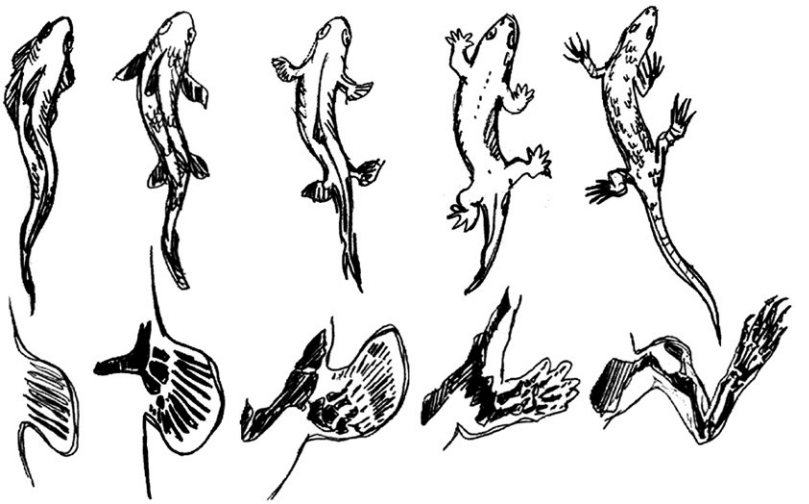
Už pánev druhu *Ichthyostega* tvoří tři kosti a má dobře diferencované acetabulum, u druhu *Acanthostega* tato skutečnost potvrzena není (Clack et al., 2012; Shubin et al., 2013).

Změna párových ploutví v kráčivé končetiny není izolovaný vývojový proces týkající se pouze končetin, resp. párových ploutví. Na devonských paleolontologických nálezech lalokoploutvých ryb a prvních primitivních obojživelníků lze najít směr vývoje ploutví ke končetinám, ale i zvětšení pletenců končetin, které bylo bezpochyby vyvoláno častějším působením gravitace bez vyrovnávajícího vlivu hydrostatického vztlaku. Docházelo samozřejmě i k dal-



Obr. 21 Transformace pletence pánevního a zadní párové ploutve na zadní končetinu (Gregory & Raven, 1943)

ším transformacím tělesného schématu souvisejícím s pohybem mimo vodní prostředí, jako bylo například oploštění žeber s celkovou přestavbou hrudníku, ale i k vývojovým proměnám lebky, páteře a většiny orgánových soustav (Ahlberg, Clack & Blom, 2005), což koresponduje s realitou nového antigravitačního působení na pohybovou soustavu i s nároky lokomoce



Obr. 22 Odhad fylogenetické transformace lokomoce a přední končetiny suchozemských tetrapodů z pravolevého vlnění ocasní ploutve a trupu vodních obratlovců (autory překresleno a doplněno dle Romer, 1970).