

**UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI**

**FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD**

**Ústav klinické rehabilitace**

Kateřina Fialová

**Kvadrupedální lokomoce pohledem fylogeneze, ontogeneze a  
terapeutického přístupu**

**Bakalářská práce**

Vedoucí práce: Mgr. Jiří Stacho

Olomouc 2023

*Prohlášení*

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a použila jen uvedené bibliografické a elektronické zdroje.

Olomouc 10. května 2023

Kateřina Fialová

### *Poděkování*

Ráda bych poděkovala vedoucímu práce panu Mgr. Jiřímu Stachovi za spolupráci, věnovaný čas, odborné vedení a cenné připomínky při psaní této bakalářské práce.

## ANOTACE

**Typ závěrečné práce:** bakalářská

**Název práce:** Kvadrupedální lokomoce pohledem fylogeneze, ontogeneze a terapeutického přístupu

**Název práce v AJ:** Quadrupedal locomotion from the perspective of phylogeny, ontogeny and therapeutic approach

**Datum zadání:** 2022-11-24

**Datum odevzdání:** 2023-05-10

**VŠ, fakulta, ústav:** Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta zdravotnických věd

Ústav klinické rehabilitace

**Autor práce:** Kateřina Fialová

**Vedoucí práce:** Mgr. Jiří Stacho

**Oponent práce:** Mgr. Alena Svobodová

**Abstrakt v ČJ:** Tato bakalářská práce nahlíží na kvadrupedii ze tří hledisek. První kapitola ji zkoumá z pohledu fylogenetického vývoje, zabývá se vznikem a následným vývojem lokomoce po čtyřech končetinách. Druhá kapitola se věnuje ontogenetickému vývoji dítěte, zejména období, kdy dítě ještě nedosáhlo bipedální vzpřímené lokomoce. Třetí kapitola popisuje využití kvadrupedie v rehabilitační terapii. Cílem této bakalářské práce je sumarizace poznatků o kvadrupedální lokomoci a nalezení možného propojení mezi fylogenezí a ontogenezí kvadrupedie a následné aplikace v rehabilitaci.

**Abstrakt v AJ:** This bachelor thesis looks at quadrupedia from three perspectives. The first chapter examines it from the perspective of phylogenetic evolution, dealing with the origin and subsequent development of quadrupedal locomotion. The second chapter focuses on the ontogenetic development of the child, particularly the period when the child has not achieved bipedal upright locomotion yet. The third chapter describes the use of quadrupedia in rehabilitation therapy. The aim of this bachelor thesis is to summarize the knowledge on quadrupedal locomotion and to find a possible link between the phylogeny and ontogeny of quadrupedia and its subsequent application in rehabilitation.

**Klíčová slova v ČJ:** kvadrupedální lokomoce, fylogeneze, ontogeneze, rehabilitace, dítě, horní končetina, ramenní pletenec, lezení

**Klíčová slova v AJ:** quadrupedal locomotion, phylogeny, ontogeny, rehabilitation, infant, upper limb, shoulder girdle, crawling

**Rozsah:** 53 str.

# OBSAH

ÚVOD.....	8
<b>1 KVADRUPEDÁLNÍ LOKOMOCE POHLEDEM FYLOGENEZE .....</b>	<b>9</b>
1.1 EVOLUCE SUCHOZEMSKÝCH TETRAPODŮ – VZNIK A VÝVOJ KVADRUPEDIE .....	9
1.2 KONČETINY SUCHOZEMSKÝCH TETRAPODŮ.....	11
1.2.1 Vznik a vývoj končetin.....	11
1.2.2 Addukce končetin pod trup.....	12
1.3 LOKOMOCE SAVCŮ.....	13
1.4 LOKOMOCE NONHUMÁNNÍCH PRIMÁTŮ.....	13
1.4.1 Odlišnost lokomoce nonhumánních primátů od lokomoce ostatních savců .....	15
1.5 LOKOMOCE PREHUMÁNNÍCH PRIMÁTŮ.....	16
1.5.1 Přejít k bipedii .....	16
1.6 FYLOGENETICKÝ VÝVOJ ŘÍZENÍ LOKOMOCE .....	17
1.7 FYLOGENEZE RAMENNÍHO PLETENCE.....	18
1.8 KVADRUPEDIE VS. BIPEDIE .....	20
<b>2 KVADRUPEDÁLNÍ LOKOMOCE POHLEDEM ONTOGENEZE.....</b>	<b>21</b>
2.1 ONTOGENEZE ŘÍZENÍ LOKOMOCE .....	21
2.2 MOTORICKÝ VÝVOJ BĚHEM PRVNÍHO ROKU VĚKU DÍTĚTE.....	21
2.2.1 První trimenon.....	22
2.2.2 Druhý trimenon .....	22
2.2.3 Třetí trimenon.....	23
2.2.4 Čtvrtý trimenon .....	23
2.3 ADDUKCE KONČETIN POD TRUP.....	24
2.4 PLAZENÍ .....	24
2.5 LEZENÍ .....	25
2.5.1 Nezralé a zralé lezení po čtyřech .....	27
2.5.2 Neideální až patologické lezení po čtyřech .....	27
2.6 POHYBOVÉ VZORY A KOORDINACE KONČETIN .....	28
2.6.1 Diagonální koordinace končetin .....	28
2.7 HORNÍ KONČETINA.....	29
2.7.1 Kineziologie horní končetiny .....	29
2.7.2 Opora o horní končetinu .....	29
2.8 DOLNÍ KONČETINA .....	30
2.8.1 Kineziologie dolní končetiny.....	30
2.8.2 Opora o dolní končetinu .....	30

<b>3</b>	<b>KVADRUPEDÁLNÍ LOKOMOCE POHLEDEM TERAPEUTICKÉHO PŘÍSTUPU</b>	<b>32</b>
3.1	OPORA, CENTRACE A STABILIZACE RAMENNÍHO KLOUBU.....	32
3.2	NEUROREHABILITACE.....	34
3.3	NORDIC WALKING .....	35
3.4	CORE – TRÉNINK STŘEDU TĚLA.....	35
3.5	KLAPPOVO LEZENÍ .....	36
3.6	TERAPEUTICKÉ LEZENÍ .....	36
3.7	TESTOVÁNÍ V POZICI NA ČTYŘECH .....	37
	<b>DISKUZE.....</b>	<b>39</b>
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>41</b>
	<b>REFERENČNÍ SEZNAM .....</b>	<b>43</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>52</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>53</b>

## ÚVOD

Kvadrupedie, lokomoce prvních čtyřnožců, vedla postupným vzpřimováním až k bipedální chůzi člověka. Zásadním obdobím v evoluci pro vznik kvadrupedie byl přechod lalokoploutvých ryb na souš, následovala jejich adaptace, vznik a vývoj kráčivých končetin a jejich addukce pod trup. Přední a zadní končetiny se vyvíjely odlišným způsobem a v různých časových linkách. Podobnost vidíme i u kojenců, kdy dle kranio-kaudálního dozrávání se nejdříve formuje funkce horních a až poté dolních končetin. Prvotní funkcí horní končetiny je opora, ta se s vývojem mění a je překryta manipulační a úchopovou funkcí.

Teorie, že ontogeneze ve zkratce rekapituluje několik milionů let fylogeneze, je překonaná. Avšak stále vidíme velice podobné rysy jako lokomoci prvních plazů a plazící se dítě, kvadrupedální lokomoci tetrapodů a lezení kojence, či postupnou addukci končetin pod trup a následnou vertikalizaci.

Tato podobnost je využívána v rehabilitaci, kvadrupedální lokomoci zařadí terapeut do léčby s ohledem na pacientovu diagnózu, vytyčený cíl rehabilitace a vlastní zkušenosti. Pozice na čtyřech může být prováděna na speciálních balančních pomůckách či na pevné podložce. Účelem cvičení může být správné nastavení kloubů, posílení svalových smyček, zlepšení celkové koordinaci končetin a stability těla, zdokonalení vnímání polohy těla skrze propriocepci.

Tato bakalářská práce je rozdělena na tři kapitoly a vytyčila si dva cíle. První kapitola nahlíží na kvadrupedální lokomoci z aspektu vývoje fylogenetického, druhá se pak zabývá ontogenezí jedince a třetí kapitola je věnována aplikaci kvadrupedie v současné rehabilitační praxi. Prvním z cílů je nahlédnout na kvadrupedální lokomoci z aspektu vývoje – jak už z pohledu evoluce, tedy fylogeneze, tak z pohledu vývoje jedince, tedy ontogeneze. Druhým cílem je aplikace kvadrupedie a její využití v rehabilitační praxi s možným propojením a odkazem na fylogenezi a ontogenezi člověka.

Vyhledávání odborných článků a studií bylo realizováno skrze on-line databáze PubMed, Google Scholar, EBSCO a Web of Science prostřednictvím elektronických informačních zdrojů Univerzity Palackého v Olomouci. Pro vyhledávání byla použita následující klíčová slova a jejich kombinace: phylogeny of locomotion, ontogeny of locomotion, quadrupedal locomotion, therapy, hand support, crawling, motor development, infant, shoulder girdle. Na základě vyhledávání bylo použito 61 odborných článků a studií převážně v elektronické podobě a 17 odborných knižních zdrojů v českém a anglickém jazyce. Rešeršní činnost probíhala od října 2022 do dubna 2023.



# 1 KVADRUPEDÁLNÍ LOKOMOCE POHLEDEM FYLOGENEZE

Kvadrupedie se stala základním typem lokomoce nadtržidy čtyřnožců. Postupem času se vyvíjela i u savců, stejně tak u opic a následně u lidoopů. Během měnicích se přírodních podmínek se ale pravděpodobně stávala kvadrupedie nevýhodnou a neefektivní, proto došlo k polarizaci lokomoce ve prospěch zadních končetin a k rozvoji bipedie (Vančata, 2003a, s. 33-34).

## 1.1 Evoluce suchozemských tetrapodů – vznik a vývoj kvadrupedie

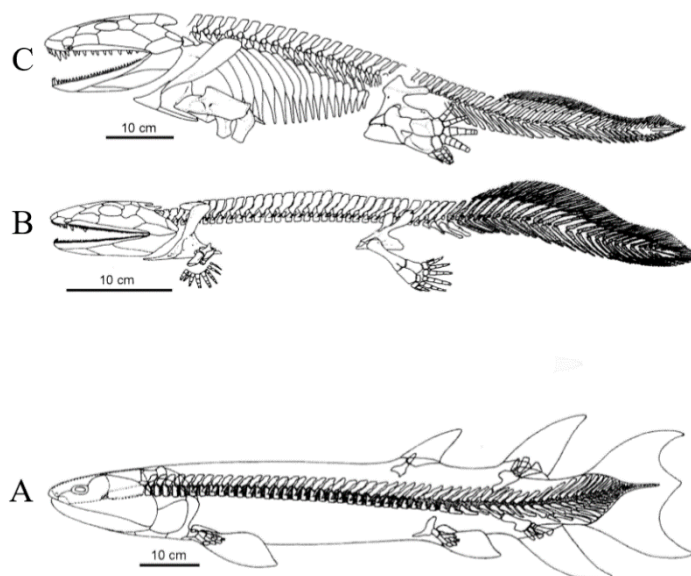
Období prvohor, přesněji oddělení středního a pozdního devonu, bylo pro evoluci suchozemských čtyřnožců zásadní (Kračmar, 2016, s. 39). Cupello et al. (2022, s. 1) popisuje toto období jako převratnou změnu v historii obratlovců, kdy došlo k přechodu živočichů z vody na souš díky klíčovým morfologickým a fyziologickým změnám jako vznik končetin či přechod na plicní dýchání.

V době před 405–345 miliony lety započalo postupné osídlování souše prvními suchozemskými tetrapody. Vše se dělo jako následek střídání záplav a sucha, kdy docházelo ke vzniku mělkých vodních nádrží s hustou vegetací, které se po vyschnutí měnily v nepřetržité suché plochy (Dylevský, 2007, s. 86). Postupně tedy nastala paradoxní adaptace lalokoploutvých ryb, které se snažily udržet ve vodním prostředí. Nově vzniklé končetiny je měly přenést do míst, kde byl stále dostatek vody, ale naopak došlo k adaptaci živočichů na souš (Romer 1967 in Kračmar, 2016, s. 45).

Za výchozí stadium tetrapodů je považován *Eusthenopteron* z nadřádu lalokoploutvých ryb. Robustní tvar jeho ploutví připomínal stavbu končetin čtyřnožců a zprostředkoval živočichovi lezení po dně. Vývojově blízkým byl druh obojživelníků *Ichthyostega*. Primitivní obojživelník objeven v Grónsku, o délce asi 150 cm a se sedmi prsty na nohou, jehož lokomoce kvůli omezenému loketnímu kloubu připomínala spíše pádlování. Ze stejného období pochází i *Acanthostega*, přibližně 60 cm dlouhý obojživelník s osmi prsty na noze, který byl objeven později, ale podle primitivnějších znaků je řazen před druh *Ichthyostega*. (Kračmar, 2016, s. 41; Dylevský, 2007, s. 86).

Aby mohly oba výše zmíněné druhy obojživelníků pobývat na suchu, byla zásadní změna způsobu dýchání, tedy postupný přechod z žaberního dýchání na plicní. Stavba končetin a zachovaný ocasní lem nám ale potvrzují, že převládajícím prostředím byla stále voda (Roček, 2002, s. 204-205). Hypotézu, že *Acanthostega* a *Ichthyostega* žili převážně ve vodě, potvrzují

i jejich chrupavčité pažní kosti v téměř dospělém stadiu. Humerus by tak nebyl schopen trvale nést na souši celou váhu těla (Fröbisch, 2016, s. 311).



**Obrázek 1** Ilustrace kostry srovnání *Eusthenopteron* (A), *Acanthostega* (B) a *Ichthyostega* (C) (Carroll, Irwin a Green, 2005, upraveno)

Chybějícím mezičlánkem mezi lalokoploutvými rybami a prvními obojživelníky je rod *Tiktaalik*. Byly u něj objeveny znaky jako hřbetní šupinový kryt, párové paprscité ploutve a generalizovaná spodní čelist, které jsou typické pro lalokoploutvé ryby. Zároveň se ale objevují i znaky společné s druhy *Acanthostega* a *Ichthyostega* – tvar lebky, ramenní a pánevní pletenec a tvar žeber (Daeschler, Shubin a Jenkins, 2006, s. 761). Dalším důležitým rysem je kostra předních končetin, která byla plně vyvinuta, a funkční zápěstní kloub. Místo prstů měl *Tiktaalik* stále ploutevní paprsky, ale již pohyblivý krk, menší žaberní otvor a plochou lebku (Mihulka, 2006, s. 757).

Vodní obratlovci žijící v téměř neutrálním vztaku se museli na souši přizpůsobit působení gravitace, což si vyžádalo změnu lokomoční strategie. Ploutve poskytly základní formu nohou, které pomohly raným obratlovcům žijícím na souši udržet váhu těla a přejít od bočního vlnění k chůzi (Giardina a Mahadevan, 2021, s. 1). Lokomoční složku tohoto přechodu lze rozdělit do čtyř hlavních událostí: terestrializace, neboli přechod z vody na souš, vznik končetin s prsty, lokomoce na pevném povrchu a střídavá chůze, při níž jsou pánevní končetiny využity jako hlavní zdroj hybné síly (King et al., 2011, s. 21146).

Evoluce tetrapodů je tudíž jedním z hlavních milníků přechodu obratlovců na souš, která s sebou nese strukturální a morfologické změny. Jejich příkladem je nový způsob lokomoce, dýchání a sluchu, vznik krku, vyvinutí ramenního a pánevního pletence spolu s robustními končetinami s prsty, zvětšení žeber a vznik křížové kosti (Daeschler, Shubin a Jenkins, 2006, s. 757).

Jak už je výše zmíněno, s vývojem končetin souvisel i rozvoj plic. Plíce začínaly jako jeden orgán, který se postupně s evolucí měnil na párový, a to v závislosti na rozvoji končetin. Anatomický posun ramenního pletence umožnil větší prostor plicím a zvětšil tak plochu, která byla k dispozici pro výměnu kyslíku a oxidu uhličitého, takže obratlovci mohli na souši lépe dýchat (Cupello et al., 2022, s. 2).

## 1.2 Končetiny suchozemských tetrapodů

### 1.2.1 Vznik a vývoj končetin

Ve své práci Dylevský (2007, s. 86) vychází z Jarvika a potvrzuje, že se vývoj předních a zadních končetin z ploutví lalokoploutvých ryb a jejich pletenců od sebe výrazně odlišoval a neprobíhal současně. Ramenní pletenec byl zprvu napojen na lebku, což funkčně nebylo pro pohyb na souši vhodné, proto evolučně došlo k oddělení, následnému zmnožení částí pletence a kaudálnímu posunu. Tím bylo umožněno živočichům otáčet hlavu. Pánevní pletenec je uložen horizontálně a napojuje se na křížové obratle.

Vývoj kráčivých končetin byl doprovázen morfologickými změnami celého těla. Důvodem bylo častější působení gravitace a vývoj lokomoce na souši. Postupně došlo ke zvětšení pletenců končetin, oploštění žeber a vývojovým změnám páteře, lebky a vnitřních orgánů (Ahlberg, Clack a Bloom, 2005, s. 139).

Existuje domněnka, že se u vodních živočichů nejprve vytvořil suchozemský plán těla a až následně došlo k jejich přechodu na souš (Daeschler, Shubin a Jenkins, 2006, s. 757; Hogervorst, Bouma a de Vos, 2009, s. 9). Dylevský (2007, s. 87) tuto skutečnost popsal slovy: „*Ryby nevystoupily na souš, ale narostly jim končetiny a začaly chodit.*“

Obecná anatomická stavba končetin, jako ji známe dnes, tzn. model proximální kosti (humerus, femur), dvě kosti mediální (radius a ulna, tibia a fibula) a distální skupina kostí (karpální kosti, tarzální kosti) a pět prstů a prstců, byla ovlivněna právě přechodem obratlovců z vody na souš. Proximální kost vede pohyb celé končetiny, dvě mediální kosti slouží k rotaci akra a distální kůstky zajišťují jemnou motoriku (Kračmar, 2016, s. 61-63; Hogervorst, Bouma a de Vos, 2009, s. 9).

Yano a Tamura (2013, s. 4) shrnuli přechod ploutví na končetiny do čtyřech bodů:

1. Vytvoření dvou základních částí – stylopodium (proximální část končetiny, humerus či femur) a zeugopodium (střední část končetiny, radius a ulna, tibia a fibula).
2. Následné vytvoření autopodia (distální část končetiny, kosti ruky a nohy).
3. Určení počtu prstů na končetinách.
4. Ztráta ploutevního paprsku.

### 1.2.2 Addukce končetin pod trup

Po přechodu živočichů na souš pokračovalo zdokonalování morfologie jejich těla ve prospěch energie. Jedním z těchto znaků je právě změna z abdukčního postavení končetin do addukčního neboli do postavení končetin pod trup, kdy živočich získává efektivní posturu a lokomoci. Abdukované končetiny nacházíme u primitivnějších plazů jako jsou varani, trup je u nich stále v kontaktu se zemí. Semiaddukované končetiny jsou typické pro ještěry. Dokončenou addukci potom nacházíme u většiny savců (Kračmar, 2016, s. 55).

U výše zmiňovaných druhů primitivních obojživelníků *Acanthostega* a *Ichthyostega* byly končetiny v abdukčním postavení. To jim spolu s nedokončeným vývojem zápěstního a hlezenního kloubu nedovolovalo nadzvednout trup z podložky, jejich lokomoce byla pouhým plazením (Kračmar, 2016, s. 59). Analogický typ lokomoce vidíme jak u nižších recentních plazů, tak i v ontogenetickém vývoji člověka, kdy se dítě plazí. Trup se odlepí od podložky a končetiny se střídají ve zkříženém lokomočním vzoru. Pohyb probíhá přes proximální klouby končetin, oporou jsou jejich distální části (Vojta a Peters, 2010, s. 28).

U vyspělejších obojživelníků a raných plazů končetiny zesílily, ale byly stále flektovány a postaveny kolmo k dlouhé ose těla, tedy v abdukčním postavení. Poloha končetin odpovídala poloze ploutví u ryb. Orientace ploutví u ryb vzhledem k ose těla ale nemá z hlediska spotřeby energie žádný význam. Chůze po souši je však mnohem energeticky výhodnější, když jsou končetiny umístěny pod tělem, tedy v addukčním postavení. V abdukčním postavení končetin je totiž potřeba neustálé aktivity svalstva k udržení trupu nad podložkou. Obojživelníci a raní plazi se pohybují s téměř horizontálně uloženými pažními a stehenními kostmi, adduktory tak nesou velkou část váhy těla. Páteř se pohybuje bočním vlněním, tady vidíme pozůstatek od rybích předků (Hogervorst, Bouma a de Vos, 2009, s. 13-14).

### 1.3 Lokomoce savců

Hlavními charakteristikami kvadrupedální lokomoce savců je zaprvé vývojově dokončená addukce končetin pod trup a zadruhé sagitální (dorzoventrální) vlnění trupu. Tato schopnost předozadního ohýbání těla umožnila vznik asymetrické lokomoce jako je cval nebo klus. Evolučně tudíž muselo dojít ke změnám v pohybovém systému. Změnám podlehl především epaxiální (zádové) svalstvo, s jeho reorganizací byla spojena i redukce žeber v bederní oblasti a zvětšení břišní muskulatury, která antagonisticky napomáhá sagitálnímu vlnění. Reorganizací prošlo i svalstvo zadních končetin, některé ze svalů se posunuly na trup (m. puboischiofemoralis, m. iliopsoas). Tím se nahromadila rychlá glykolytická svalovina v okolí páteře, což bylo energeticky potřebné pro zajištění asymetrické chůze (Schilling, 2011, s. 11-14).

Dalšími důvody, proč evolučně došlo ke změně morfologie epaxiálního svalstva, byla nutnost stabilizace trupu ve všech třech rovinách a vertikálněji orientované zygapofýzy (kloubní spojení obratlů), které oproti horizontálně uloženým zygapofýzám plazů vyžadují aktivní stabilizaci. Důkazem je šikmá orientace fasciкул epaxiálního svalstva, která zajišťuje zároveň pohyb i stabilizaci trupu savců (Schilling, 2011, s. 11-14).

### 1.4 Lokomoce nonhumánních primátů

U primátů nacházíme podobný plán morfologie svalové a kosterní soustavy jako u moderního člověka. Některé formy lokomoce primátů jsou charakteristicky velmi blízké lidské chůzi, i když se spoustou variací a alternativ (Kračmar, 2016, s. 85).

Skupina primátů je charakteristická širokým výčtem způsobu lokomoce. Jsou schopni chodit po dvou i po čtyřech končetinách, běhat, skákat, šplhat i ručkovat. Všechny typy nenajdeme u jednoho druhu, způsob pohybu je volen podle prostředí, ve kterém se daný druh nachází (Liška, 2010, s. 65).

Vančata (2003b, s. 109-112) ve svém díle dělí lokomoci primátů podle pozice trupu na pronográdní a antipronográdní. Pronográdní chápe jako kvadrupedální lokomoci s převážně horizontální polohou trupu. Tento typ zahrnuje pravidelný rytmus kroku a je velice efektivní ve standartních podmínkách, pro extrémní situace je však nevhodný. Řadíme zde např. leh, kvadrupedální postoj a chůzi, skok. U antipronográdního typu lokomoce převažuje vertikální pozice trupu. Jedinci, kteří jej využívají, mají nepravidelný krokový vzorec, jsou obratnější v běhu, šplhání nebo brachiace. Mezi tento typ lokomoce patří sed, bipedie, bipední skákání, šplhání, závěs, ručkování a brachiace. Obecně lze chápat, že antipronográdní typ lokomoce je

evolučně pokročilejší. Dále lokomoci dělí podle prostředí na terestriální (pozemní) a arboreální (stromovou).

Gaisler (2000, s. 41-44) se téměř shoduje s Vančatou (2003b, s. 86) a shrnul členění lokomoce primátů dle biomechaniky následovně:

1. Kvadrupedie – výchozí typ, umožňuje pohyb po zemi i po stromech, chůze po všech čtyřech končetinách s došlapováním na celou plochu chodidel, prsty jsou natažené, nebo objímají větev.
  - a. Chůze po větvích
  - b. Semibrachiace
  - c. Chůze po zemi
  - d. Šplhání

U semibrachiace hrají velkou roli hrudní končetiny, na kterých je redukovaný palec, a dopomáhají si pánevními končetinami nebo ocasem. Chůze po zemi je považována za druhotný způsob lokomoce, kdy jsou prsty primátů již analogické prstům lidské nohy.

2. Vertikální lpění a skákání – zvláštní typ lokomoce, který se ze všech recentních obratlovců objevuje pouze u primátů. Mají k tomu uzpůsobené dolní končetiny se zvětšenými metatarsy.
3. Brachiace – jedná se o závěs za hrudní končetiny, pánevní končetiny se nezapojují nebo jen vzácně, tím došlo k několika morfologickým změnám, např. prodloužení hrudních končetin a zvětšení rozsahu pohybu v kloubech, naopak zkrácení pánevních končetin.
4. Chůze brachiátorů – termín používaný pro označení chůze po zemi.
  - a. Pěstní chůze (*fist walking*) – pohyb po všech čtyřech končetinách, ruce jsou sevřené v pěst a opírají se o hřbet z důvodu dlouhých prstů.
  - b. Kotníkochůze (*knuckle-walking*) – podobný typ jako pěstní chůze, prsty však nejsou úplně sevřeny v pěst.
  - c. Bipédie – u primátů se objevuje v případě, že něco nesou v ruce nebo se vztýčují na zadních končetinách. Trup je mírně nakloněn dopředu.

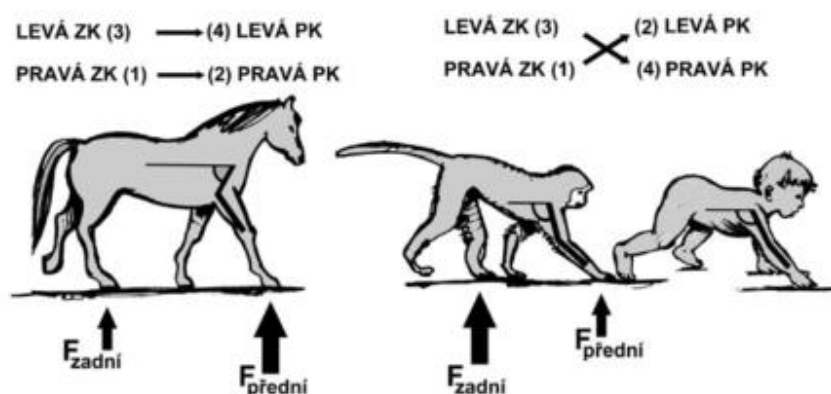
### 1.4.1 Odlišnost lokomoce nonhumánních primátů od lokomoce ostatních savců

Navzdory velké rozmanitosti čtyřnožců má jejich pohybové chování mnoho společného, co se týče chůze, kinematiky a nervového řízení. Většina savců používá podobný obraz chůze, který se mění v závislosti na rychlosti. Při menších a středních rychlostech používají symetrický obraz – obyčejnou chůzi a klus, při vyšších rychlostech poté asymetrický obraz – cval (Righetti et al., 2015, s. 1).

Kinematika kvadrupedálního pohybu primátů se liší od kinematiky ostatních savců. Pravděpodobně je to dáno rozdílným rozložením hmotnosti končetin. Primáti mají soustředěnou hmotnost na distálnější části končetin, která je zodpovědná za jejich jedinečnou kinematiku pohybu (Raichlen, 2005, s. 415, 430).

Lokomoce primátů se kromě kinematiky odlišuje i v zapojení svalů ramenního pletence. Na základě elektromyografických studií svalů v okolí pletence ramenního (m. latissimus dorsi, m. teres major a kaudální část m. pectoralis major) bylo zjištěno, že tyto svaly u savců přispívají k dopřednému impulsu při kvadrupedálním pohybu. Proto se také souhrnně nazývají propulzivní (hnací) svaly ramene. Jsou aktivní především v opěrné fázi krokového cyklu. Na rozdíl od savců jsou tyto svaly u primátů neaktivní, nebo v případě kaudální části m. pectoralis major jen velmi málo. Absence aktivity je pravděpodobně způsobena tím, že hnací motor pro kvadrupedální pohyb přebírají zadní končetiny, jelikož pomocí předních končetin primáti šplhají a zavěšují se na větve stromů, tudíž vyžadují větší rozsah pohybu v ramenním kloubu. U vyspělejší druhů je potřeba uvolnění končetin pro manipulaci s předměty (Larson a Stern, 2007, s. 1204-1205).

Další odlišností primátů je chůze s diagonální sekvencí, tedy levá zadní, pravá přední, pravá zadní a levá přední. Kdežto ostatní savci využívají laterální souhyb končetin, tedy levá zadní, levá přední, pravá zadní a pravá přední. I přesto, že můžeme u primátů laterální sekvenci občas zpozorovat, dominantní je vždy diagonální sekvence. Je předpokládáno, že tento typ kladení končetin se vyvinul pro chůzi po tenkých větvích stromů. Primáti (tedy i člověk) mají více protaženou paži při dotyku s podložkou. Je to úhel větší než 90° k horizontální rovině těla (Righetti et al., 2015, s. 1-2). Tyto dvě skutečnosti zobrazuje obrázek 2. Koordinace končetin také ale závisí na morfologii těla. Krátkonozí využívají spíše klusavý typ chůze s diagonálním kladením končetin, živočichové s delšími končetinami naopak směřují ke cvalu s laterálním kladením končetin (Patrick, Noah a Yang, 2009, s. 603).



**Obrázek 2** Srovnání vzoru chůze koně a primáta, doplněno srovnání s dítětem (Schmitt, 2003 in Kračmar, 2016, doplněno a upraveno Kračmarem, 2016, s. 124)

## 1.5 Lokomoce prehumánních primátů

### 1.5.1 Přejchod k bipedii

Podle Pontzera (2017, s. 619) bipedalismus u nejstarších homininů poskytoval jen velice malou energetickou výhodu a pravděpodobně nebyl ani adaptací na zvětšení rozsahu pohybu, naopak jej mohl částečně omezit. Zatím nejpravděpodobnější hypotézou zůstává, že důvodem přechodu z kvadrupedie do bipedie bylo zlepšení fyzické aktivity a výdrže pro zajištění obživy – lov a sběračství.

V dnešní době nalezneme bipedalismus nejen u moderního člověka, ale i u některých recentních primátů. Lidský bipedalismus se však značně odlišuje, primáti se pohybují se ztuhlým trupem a s flektovanými kyčelními i kolenními klouby. Přejchod z lokomoce po čtyřech končetinách k lokomoci po dvou končetinách s sebou nesl mnoho morfologických a funkčních změn pohybového aparátu, které nalezneme u dnešního moderního člověka. Patří zde dvojesovité zakřivení páteře, změna polohy velkého týlního otvoru, nízká, zato ale široká pánev, plná extenze kolenního kloubu, přeskupení kostí nohy a vytvoření dvou kleneb pro tlumení nárazů, zarovnání palce s ostatními prsty – palec již není v opozici. Lidská chůze je dále charakterizována systematickým využíváním rotace trupu kolem pasu, což vede k diagonálnímu spojení švihové horní a dolní končetiny (Schmidt, 2010, s. 28; Lieberman, 2016, s. 45-48).

Bipedie je vysoce specializovanou lokomocí, v efektivní formě se vyskytuje pouze u člověka a jeho nejbližších předků (homininů). Lokomoce se účastní pouze dolní končetiny, které mají mohutně vyvinuté svalstvo. Horní končetiny se účastní nepřímo, podílejí se



na udržování tempa, dynamiky a rovnováhy. Zásadní roli hraje motorická a senzitivní mozková kůra, mozeček a pyramidové dráhy (Vančata, 2003b, s. 91).

## 1.6 Fylogenetický vývoj řízení lokomoce

Pro pochopení fylogeneze řízení pohybu je důležitá definice CPG (*central pattern generators*) neboli centrálních generátorů vzorců pohybu. Jedná se o neurální okruhy, které při aktivaci vytváří rytmické a stereotypní motorické vzorce jako je dýchání, chůze, plavání, létání nebo žvýkání (Marder a Bucher, 2001, s. 986). Tyto motorické vzory jsou zachovány u všech druhů obratlovců, a to i přes značné fylogenetické a morfologické odlišnosti (Kračmar, 2016, s. 162). Nejjednodušší pohybové vzory jsou u živočichů, kteří se pohybují jen několika segmenty těla, příkladem může být mihule, která pro pohyb využívá pravolevé vlnění trupu (Marder a Bucher, 2001, s. 991).

Nervové řízení lokomoce u dospělého člověka zahrnuje generování souboru příkazů (CPG), které směřují ke svalům obou dolních končetin. Ty jsou generovány pravidelně s každým krokem. Podobné příkazy jsou i u dalších obratlovců, což naznačuje, že vývoj lokomoce se řídí společnými principy organizace neuronálních sítí (Lacquaniti, Ivanenko a Zago, 2012, s. 822).

Bipedální chůze je tedy založena na principu kvadrupedální koordinace končetin, což má význam u rehabilitace pacientů s poruchou pohybového aparátu při Parkinsonově chorobě nebo po cévní mozkové příhodě. U parkinsoniků je aktivace svalů horních končetin během lokomoce dostatečně silná, ačkoliv švih paží je biomechanicky menší. U pacientů po cévní mozkové příhodě je blízká interakce mezi postiženou a nepostiženou stranou. Při stimulaci aferentního nervu nepostižené dolní končetiny vede k normální reflexní aktivaci proximálních svalů paže, při stimulaci postižené strany se odpověď na pažích neobjeví (Dietz, 2011, s. 1406).

Vývoj lidské lokomoce zahrnuje kromě jiného i zrání a funkční reorganizaci supraspinálních a spinálních obvodů, které koordinují chůzi nestabilního vzpřímeného bipedálního postoje. Navzdory rysům lidské lokomoce se ve vývoji a organizaci nervové soustavy objevují nápadné podobnosti s organizací a lokomocí čtyřnohých živočichů. Mezi společnými znaky zaujímá zvláštní postavení kvadrupedální koordinace horních a dolních končetin. Kvadrupedální lokomoce vyžaduje koordinaci pohybu jak předních, tak zadních končetin a trupu. Ačkoliv bipedální chůze člověka nevyžaduje nutné zapojení ramenních pletenců, rytmické vzory aktivity svalů ramene, modulace křížových reflexů končetin a propojení pohybů mezi horními a dolními končetinami pozorujeme u různých lokomočních úkonů, jako je např. chůze, běh, plavání atd. Zejména při chůzi mají diagonálně protilehlé

končetiny tendenci pohybovat se synchronně. Toto spřažení řízení mezi končetinami by mohlo představovat evoluční pozůstatek kvadrupedální lokomoce. Pohyby horních končetin jsou koordinovány s končetinami zadními prostřednictvím propriospinálních drah, které existují jak u čtyřnožců, tak u člověka, a propojují krční a bederní míšní okruhy, což vede ke střídavé rytmické aktivaci příslušných CPG (La Scaleia et al., 2018, s. 1105-1106).

Nedávné studie polemizují o tom, zda se nejedná při chůzi pouze o pasivní souhyby ramenních pletenců a zda souhyb končetin nezískáváme až v průběhu života. Existuje ale spousta důkazů o tom, že CPG se u člověka vyskytují a že byly nalezeny i u jiných živočichů. Síť CPG jsou sestaveny brzy během vývoje, často ještě dříve, než se lokomoce vůbec objeví. Novorozenci za určitých okolností vykazují dolními končetinami motorické vzorce bipedální lokomoce, i když ještě neudrží vzpřímenou polohu (Pavlidis et al., 2016, s. 233-234).

## 1.7 **Fylogeneze ramenního pletence**

Evoluce struktury horních končetin člověka souvisí se změnami vzorců lidského chování. Horní končetina je mozaikou morfologických znaků, které odrážejí evoluční historii lokomočních a manipulačních funkcí (Marzke, 2009, s. 26).

Evoluční vývoj horní končetiny je rozdílný od končetiny dolní. Změny jsou pozorovány jak v morfologii, tak ve funkci. Ramenní pletenec spojuje horní končetinu s trupem, s čímž souvisí propojení axiální motoriky, respirační motoriky i motoriky akrální části. V rehabilitaci při poruchách ramene se často vychází z fylogenetických pohybových vzorů, tedy z lokomoce po všech čtyřech končetinách. A to jak už z té starší (lokomoce prvních čtyřnožců), tak z té mladší (stromová lokomoce primátů), která je pro rehabilitaci významnější (Krobot, Míková a Bastlová, 2004, s. 88).

Tomu, že máme v ramenním kloubu takový rozsah pohybu, vdčíme za adaptaci primátů na pohyb v korunách stromů. Během evoluce se stále zvětšoval rozdíl mezi ramenním pletencem, který je stabilní, ale zároveň dynamický, a tuhým pánevním pletencem. Právě tato pevnost ramenního pletence byla nahrazena dynamickými vlastnostmi pro motoriku celé horní končetiny (Krobot, Míková a Bastlová, 2004, s. 91).

Původní funkcí ramenního pletence kvadrupedálních předků člověka byla opora a lokomoce, pletenec se tedy nacházel v uzavřeném kinematickém řetězci (closed kinetic chain, dále jen CKC) s převahou addukčních a vnitřně rotačních pohybů. Následný postupný přechod k bipedii způsobil změnu tvaru páteře a žeber, tudíž se musela lopatka spolu se skapulohumerálními svaly přizpůsobit. S vývojem tedy docházelo k redukci svalstva potřebného ke kvadrupedální lokomoci. Část m. pectoralis (addukční funkce) se přeměnil

na m. supraspinatus a m. infraspinatus (abdukční a zevně rotační funkce), což způsobilo posílení těchto pohybů – CKC se mění na otevřený kinematický řetězec (open kinetic chain, dál jen OKC). Dále se posunul úpon m. deltoideus distálním směrem, čímž se zvětšil rozsah v ramenním kloubu ve smyslu flexe a abdukce nad horizontálu. Změnil se i m. latissimus dorsi, a to za účelem udržení hlavice humeru v jamce při elevaci končetiny nad 90°. Z jeho části vznikly svaly známé pod pojmem rotátorová manžeta – m. subscapularis, m. teres major a minor – svaly zajišťující rotace. Lopatka se od frontální roviny odchýlila přibližně o 30° (Michalíček a Vacek, 2014, s. 151-153).

Po vývojové změně lopatky a svalů kolem ní následovalo zdokonalení akra (ruky) pro manipulační a úchopové funkce. Obecně lze říci, že se morfologie, neuromotorické řízení a původní lokomoční a opěrná funkce ramena změnily ve prospěch úchopových a manipulačních potřeb. Rameno následuje úchopovou funkci ruky. Dokazuje to i potvrzený fakt, že neuromotorická kontrola ramene je spojena s kontrolou akra. Znamená to tedy, že původní lokomoční funkce ramene byla překryta manipulační funkcí ruky. Starší funkci ramene využíváme v dnešní době především ve sportu, kdy je lokomoce prováděna pomocí horních končetin přes uzavřený kinematický řetězec – např. plavání či běh na lyžích. Dále je využívána v rehabilitaci, kdy se snažíme o správné nastavení segmentů před započítím pohybu. Jedinečnost manipulačních funkcí ruky s sebou ale nese i jistou nevýhodu, a to přetěžování ramenního pletence (Michalíček a Vacek, 2014, s. 151-153).

Funkce ramene se dá považovat za fylogeneticky mladou a náchylnou. Při komplexním pohybu dochází ke střetu fylogeneticky starší lokomočně-posturální funkce kvadrupedů s fylogeneticky mladší manipulačně-fázickou funkcí. Při přetěžování či poranění struktur ramenního pletence dochází k porušení koordinace svalových smyček pletence a lopatky a k narušení biomechaniky kloubu, což vede ke svalovým dysbalancím a k následným bolestem v okolí pletence a krční a hrudní páteře. Tělo na bolest reaguje tak, že se snaží ramenní pletenec zastabilizovat. Dojde tedy k tomu, že fylogeneticky starší svaly s posturální funkcí převládnu nad vývojově mladšími s fázickou funkcí, což způsobí přechod k fylogeneticky starším pohybovým vzorům. Tyto vzory jsou totiž pro CNS příhodnější k fixaci. Funkci tedy většinou přebírají starší m. trapezius a m. levator scapulae (dojde k jejich zkrácení) nad mladšími m. serratus anterior a m. rhomboideus major (dojde k jejich oslabení) (Michalíček a Vacek, 2014, s. 151-153).

## 1.8 Kvadrupedie vs. bipedie

Rozložení hmotnosti lidského těla je z hlediska stability obrácené. Pokud chceme, aby bylo něco stabilní, soustředíme hmotnost do nejspodnější části. Většina hmotnosti lidského těla je ale koncentrována v proximálních částech končetin a v trupu. Stabilita těla byla obětována při přechodu z kvadrupedie k bipedii pro důležitější výhody (Kroker, 1999, s. 1).

Bipedální postoj či lokomoce umožňuje rychlé změny polohy a rychlosti ve všech směrech, nabízí přehled o okolním prostředí, minimalizuje energetické výdaje při pohybu a uvolňuje přední (horní) končetiny pro sofistikované úkoly. Právě tyto vlastnosti přináší při biologickém výběru značné výhody pro přežití, což kompenzuje posturální nestabilitu. Mezi nevýhody vzpřímené chůze patří nutnost dobře vyvinutého rovnovážného aparátu s rychlou integrací ze zrakových a sluchových podnětů. Nestabilní anatomie těla nutí k neustálému přizpůsobování polohy kloubů a délky svalů spolu s prostorovou orientací, aby mohla být lokomoce účelná a energeticky výhodná (Kroker, 1999, s. 1).

Lieberman (2016, s. 58-59) ve své knize popisuje kromě jiného i nedostatky vzpřímené chůze, mezi které patří například období těhotenství, kdy samice nosí několik kilogramů váhy navíc. Tato hmotnost posouvá těžiště lidské matky před osu těla a tím má tendence ji převažovat. Matka se tedy buď více zaklání, aby dostala těžiště zpět na střed, nebo zapojuje více zádové svalstvo, což souvisí s bolestmi dolní oblasti zad. Další ztrátou při přechodu k chůzi po dvou končetinách bylo snížení rychlosti. Bipédie s sebou přinesla i typické potíže jako distorze kotníků, problémy s koleny či bolesti zad.

## **2 KVADRUPEDÁLNÍ LOKOMOCE POHLEDEM ONTOGENEZE**

V průběhu motorického zrání dítěte dochází k vývoji lokomoce postupně. Nejdříve se objevují primitivní, fylogeneticky starší kvadrupedální vzorce, až později dítě přechází ve složitější, fylogeneticky mladší bipedální chůzi. Při prvních pokusech o lokomoci, tedy přibližně v 7. měsíci, kdy se kojeneček začíná plazit, dochází ke změnám i dýchacích pohybů, jelikož respirační svaly přibírají k dechové funkci i tu posturální (Véle, 2006, s. 347).

Během posturálního vývoje dozrává muskuloskeletární soustava od hlavy směrem dolů, tedy v kraniokaudálním směru. Z čehož vyplývá, že se do lokomoce nejprve zapojuje pletenec ramenní a až poté pánevní. V prvním roce života dítěte zajišťuje lokomoci primárně tedy pletenec ramenní, až po spojení funkce pánve a akra dolní končetiny se uvolňuje horní končetina pro manipulační a úchopovou funkci (Vystrčilová, Kračmar a Novotný, 2006, s. 92).

Posturální motorické funkce se v motorické ontogenezi postupně vyvíjejí a zdokonalují od narození dítěte. Nejvyšším stupněm vývoje je vzpřímené držení těla a bipedální chůze. Motorický vývoj a jeho jednotlivé fáze přímo souvisí s ontogenezí centrálního nervového systému (dále jen CNS), kdy se při složitějších pohybech zapojují vyšší etáže řízení motoriky (Čápová, 2016, s. 40).

### **2.1 Ontogeneze řízení lokomoce**

V rámci senzomotorického řízení CNS jsou rozlišovány tři úrovně. V novorozeneckém stádiu to jsou globální pohyby (tzv. general movements, dále jen GM) a primitivní reflexy řízeny na úrovni míchy a mozkového kmene. Do jednoho roku věku dítěte dozrává především podkorová oblast CNS. To umožňuje základní stabilizaci trupu, která je předpokladem pro jakýkoli fázický a lokomoční pohyb. Na podkorové úrovni jsou orofaciální svaly a aferentní informace automaticky integrovány v rámci posturálně-lokomočních vzorců. Následně se stále více aktivuje korové řízení, což je důležité pro jednotlivé kvality a charakteristiky pohybu. Umožňuje také izolované segmentální pohyby a relaxaci (Kobesová a Kolář, 2013, s. 23).

### **2.2 Motorický vývoj během prvního roku věku dítěte**

Motorické chování zahrnuje všechny druhy pohybů, od mimovolných záškubů po přesně cílené pohyby objevujících se od hlavy až k patě. Ačkoliv pohyby v zásadě závisí na vytváření, ovládání a využívání fyzikálních sil, tak řízení těchto sil vyžaduje více než jen

svaly a biomechaniku. Motorické chování poskytuje prostor pro vnímání, poznávání, sociální interakci a lokomoci (Adolph a Franchak, 2017, s. 1).

### 2.2.1 První trimenon

Novorozenec je funkčně a anatomicky nezralý. Nejsou vyvinuty křivky páteře ani klenby nohy, hrudník je soudkovitého tvaru. Řízení je na úrovni míchy a mozkového kmene, objevují se GM – primitivní nspecifické pohyby trupu, hlavy i končetin s proměnlivou rychlostí a amplitudou. Dále u novorozence chybí antagonistická koaktivace, tudíž není umožněna stabilita segmentů, schopnost udržet segment ve statické poloze proti působení gravitace je velmi omezená (Kobesová a Kolář, 2013, s. 24). Postavení hlavy novorozence ovlivňuje postavení končetin i trupu, čímž vzniká fyziologicky asymetrická postura. Na zádech je novorozenec nestabilní, v poloze na břiše se dotýká všemi částmi těla, dokáže krátce zvednout hlavičku, horní i dolní končetiny má flektovány pod tělem nebo u něj, hýždě jsou výše než trup (Cíbochová, 2004, s. 293).

Po skončení novorozeneckého období dítě začíná zvedat hlavu proti gravitaci, objevuje se optická fixace, dítě se opírá o distální předloktí. Opora se začíná přenášet kaudálně k symfýze a anteflexe pánve povoluje. Objevuje se opěrná funkce dolních končetin, aby se hrudník mohl zvednout od podložky. Dochází tak ke globální změně držení těla. V poloze na zádech je dítě schopno zvednout nohy nad podložku, mizí predilekční postavení hlavy a objevuje se poloha šermíře. Ruka je otevřená, palec již není uzavřen v dlani (Kolář, 2020, s. 98).

Ve 3. měsíci je dítě na zádech již stabilní, fyziologicky zcela mizí novorozenecká asymetrie hlavy a končetin, objevuje se koordinace oko – ruka – ústa. Na břiše je hlava s horním trupem vzpřímená v úhlu s osou těla přibližně 45-50°. Opora je o celou plochu předloktí, loket v 90° flexi, dolní končetiny v extenzi, zevní rotaci a abdukci. Tato poloha je důležitá pro správný vývoj vzpřimování (Cíbochová, 2004, s. 294).

### 2.2.2 Druhý trimenon

Ve 4. měsíci by mělo dítě kvalitně zvládat polohu na břiše. Dále se začíná přetáčet na oba boky, uchopuje předměty z ulnární strany, v poloze na zádech se snaží uchopovat i dolními končetinami, to můžeme vidět při pití z láhve (Cíbochová, 2004, s. 294).

V 5. měsíci pozorujeme u dítěte *fidgety movements*, jedná se o jemné krouživé pohyby v různých částech těla, převážně v zápěstí. Kojenec se přetáčí ze zad na bok a dále na břicho, kde se opírá o loket, spinu iliacu anterior superior jedné strany a mediální kondyl kolenního kloubu strany opačné (Cíbochová, 2004, s. 294; Kolář, 2020, s. 99).

V 6. měsíci si fyziologický kojeneček v poloze na zádech uchopí palce u nohou, předmět uchopuje i za střední čárou, přetočí se ze zad na břicho i zpět, a to na obě strany. Na břicho se dostane do vyššího vzporu – opora o horní končetiny s otevřenými dlaněmi a extendovanými lokty, se vzpřímenou hlavou, dolní končetiny opřeny o stehna. Tady se posunuje těžiště těla kaudálněji do bederní oblasti (Cíbochová, 2004, s. 294).

Při přetáčení se začíná diferencovat nákročná a opěrná funkce končetin. Z biomechanického hlediska se nákročné končetiny chovají jako OKC, končetiny opěrné jako CKC. Do funkce vstupují i šikmé břišní řetězce, které umožní rotaci trupu spolu s nakročením dolní končetiny (Kobesová a Kolář, 2013, s. 27; Kolář, 2020, s. 101)

### **2.2.3 Třetí trimenon**

V 7. měsíci života se kojeneček otočí z břicha přes bok na záda a přes druhý bok zpět do výchozí polohy na břichu. Dítě se otáčí kolem své osy, tzv. pivotuje, postupně se začíná plazit (první pokusy o lokomoci), přecházet do polohy na čtyřech, z té potom do šikmého sedu (Cíbochová, 2004, s. 295).

V 8. měsíci dítě aktivně leze po všech čtyřech končetinách, umí stabilní šikmý sed a postupně vertikalizuje svou polohu (Cíbochová, 2004, s. 295). Na lezení se aktivně podílejí všechny čtyři končetiny, trup je stále v horizontální pozici, ale bez kontaktu s podložkou (Véle, 2006, s. 348).

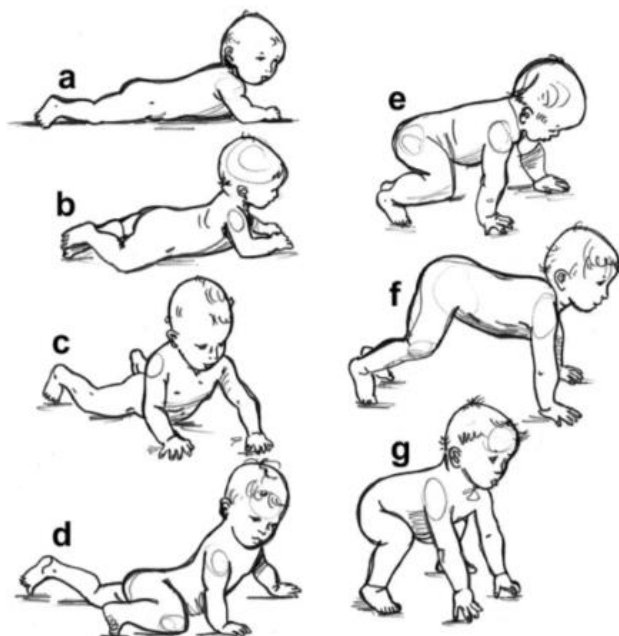
V 9. měsíci se dítě stabilně posadí, tím uvolní horní končetiny pro jinou funkci než opornou. Leze koordinovaně s oporou o dlaně, kolena a nártý, lezení je prováděno ve zkrříženém lokomočním vzoru. Některé děti fyziologicky nejprve stojí a až následně lezou, menší část dětí neleze vůbec. Z kvadrupedální pozice se dítě začíná postavovat s nakročením jedné dolní končetiny, zde již vidíme diferenciaci stojné a oporné končetiny (Cíbochová, 2004, s. 295).

### **2.2.4 Čtvrtý trimenon**

Od 10. měsíce do jednoho roku věku, tedy ve čtvrtém trimenonu, začíná dítě nejprve chodit úkrokem kolem opory s našlapováním na celou plochu chodidla, což nazýváme jako kvadrupedální lokomoci ve vertikále. Dále umí samostatně stát o široké bázi, později se samo staví v prostoru. První kroky se objevují po 12. měsíci – dítě chodí primitivně a nezrale. Chybí souhyb horních končetin, ty jsou v abdukci a flexi a mají balanční funkci. Chybí švih nákročné dolní končetiny, dítě pouze flektuje kyčelní a kolenní kloub. Nejprve našlapuje na celou plochu chodidel, až později začíná našlapovat na patu (Cíbochová, 2004, s. 296).

Celá ontogeneze postury a lokomoce má za výsledek funkční centraci kloubů, tedy maximální artikulaci kloubních plošek a ideální postavení kloubu během určité funkce, čímž ochraňuje kloub proti brzkému opotřebení a poškození (Kračmar, 2016, s. 142-143).

### 2.3 Addukce končetin pod trup



**Obrázek 3** Addukce končetin kojence během ontogeneze (Kračmar, 2016, s. 293, upraveno dle Kolář et al., 2011)

Stejně jako během fylogenetického vývoje došlo ke změně abdukčního postavení končetin u primitivních plazů k addukčnímu postavení u většiny savců, dochází k tomuto přechodu i během prvního roku ontogeneze dítěte. Cílem ale není kvadrupedální lokomoce, nýbrž je to cesta k vertikalizaci a následné bipedální chůzi (Kračmar, 2016, s. 292).

Na obrázku 3 je zobrazen přechod z abdukčního postavení končetin do addukčního. Addukce se týká jak horních, tak i dolních končetin. Končetiny mezi 3. a 4. měsícem jsou v abdukci (a), ve 4. měsíci (b) i v 5. měsíci (c) v semiabdukci, od 6. měsíce jsou horní končetiny již addukovány (d), dolní končetiny stále v semiabdukci (e), od 9. měsíce je addukce horních i dolních končetin pod trup dokončena (f, g) (Kračmar, 2016, s. 293).

### 2.4 Plazení

Schopnost plazit se mají první čtyřnožci, dítě kolem sedmého měsíce života i dospělý člověk. Rozdíl je v zapojení torzního pohybu páteře. U kojence tento pohyb není, kdežto



u dospělého člověka ano. Dospělý člověk, který již prošel posturální ontogenezí, při plazení zařazuje prvky bipedální chůze. Zapojuje torzní pohyb páteře, který vzniká při souhybu horních končetin při chůzi. U kojence (ani u ještěra) torzní pohyb nevzniká, využívá tedy fylogeneticky starý program prvních čtyřnožců (Kračmar, 2016, s. 139-140). Výzkum přechodu od plazení po břicho k lezení po rukou a kolenou potvrzuje funkční kontinuitu motorického vývoje lokomoce. Plazení se u dítěte vyskytovat nemusí, pokud je přítomno, tak vždy těsně před lezením po čtyřech končetinách (Adolph, Berger a Leo, 2011, s. 307).

## 2.5 Lezení

Pohyb po rukou a kolenou je raný způsob lokomoce dítěte. Člověk vykazuje kvadrupední lokomoční chování pouze v dětském věku nebo v některých patologických případech v dospělosti, např. u osob postižených syndromem Uner Tan (dědičné onemocnění postihující mozeček) (Righetti et al., 2015, s. 2).

Vývoj lezení je podobný ostatním motorickým dovednostem jako je např. sezení, plavání či chůze. Toto chování je výsledkem souhry držení těla, nervosvalové kontroly a zkušeností. Význam posturální a neuromuskulární kontroly se odráží ve skutečnosti, že na samém začátku dítě k lezení používá ruce a kolena. Končetina, která zahajuje lezení, bývá často pravá ruka. Je to podmíněno tím, že dítě začíná lézt směrem k předmětu nebo k cíli s rukou k němu nataženou, jako by se na něj snažilo dosáhnout. Způsob lokomoce po čtyřech ovlivňuje věk dítěte a zevní prostředí. Kojenci začínají lézt nejčastěji v období 9 měsíců věku a pokračují v něm, dokud nezačnou chodit bipedálně (Righetti et al., 2015, s. 2).

Kromě stability je hlavním parametrem závislým na zkušenostech délka stojné fáze. Švihová fáze zůstává téměř konstantní. Rychlost lezení kojence je závislá na zkušenostech. Stává se rychlejší v okamžiku, kdy se kompletní opora (všechny čtyři končetiny jsou na podložce) zkracuje. Kojenci tedy začínají chůzi po čtyřech končetinách a s přibývajícími zkušenostmi směřují ke klusu (Righetti, 2015, s. 8).

Patrick, Noah a Yang (2012, s. 3051) ve své studii shrnuli a popsali několik typů lezení, viz. obrázek 4. Různé styly ukazují rozdíly jak v postoji, tak v používání jednotlivých končetin. Každý řádek vždy znázorňuje jeden cyklus, čte se zleva.

Řada A: *Standard crawling*, tedy standartní lezení. Dítě se pohybuje po rukou a kolenou. Při stojné fázi levé dolní končetiny, následuje společný švih levé horní a pravé dolní. Stejně tak při stojné fázi pravé dolní končetiny se ve švihové fázi nacházejí pravá horní a levá dolní končetina.

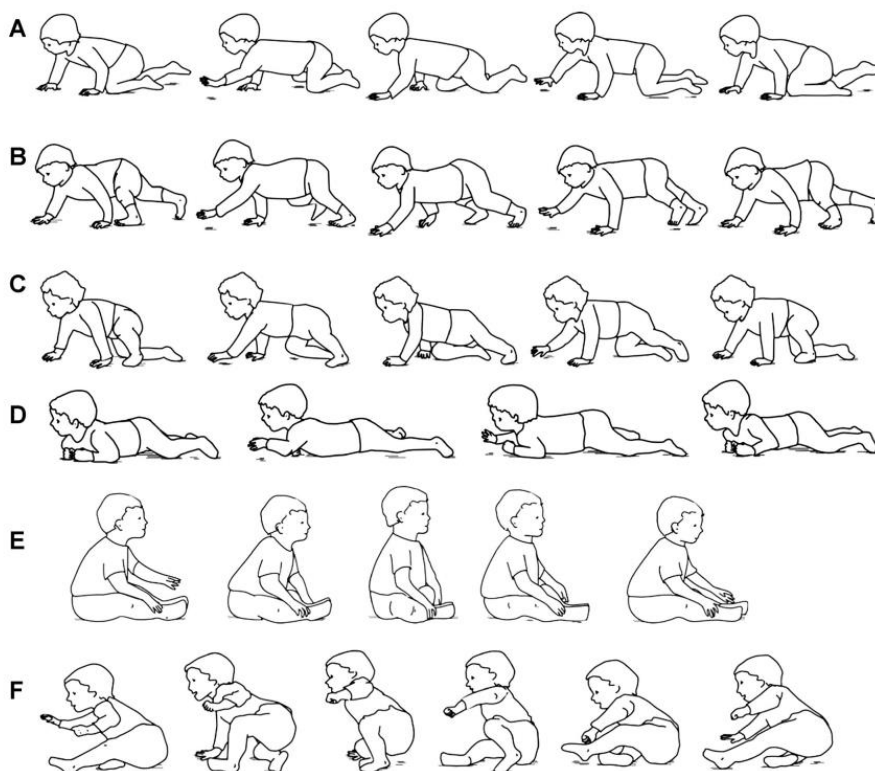
Řada B: *Hands-and-feet crawling*. Vzor pohybu je stejný jako u předchozího typu s tím rozdílem, že dítě pokládá plosku nohy, nikoliv koleno.

Řada C: *Step-crawl mix*. Zde dítě používá kombinace výše dvou zmíněných vorů, kdy se jednou dolní končetinou opírá o plosku (zde levá) a druhou dolní končetinou o koleno (zde pravá).

Řada D: *Creeping*, plazivé plížení. Při tomto pohybu se stýká břicho kojence s podložkou. Při švihové fázi levé horní končetiny a pravé dolní se levá dolní končetina extenduje a odtlačí kojence směrem dopředu, zároveň se flektuje pravá horní končetina a přitahuje kojence směrem dopředu.

Řada E: *Scooting*. Kojenec se pohybuje v sedu pomocí flexe a extenze dolních končetin.

Řada F: *Step-scoot mix using three limbs*. Výchozí pozicí je sed, následuje přechod do trojnožky, tedy do opory o levou horní končetinu, levé koleno a pravou plosku. Z této pozice dítě švihne levou dolní končetinou (tou, na které klečelo) před sebe, následně pravou dolní končetinou, což má za následek návrat zpět do sedu.



**Obrázek 4** Typy lezení dle Patricka, Noaha a Yanga (2012, s. 3051)

Značná část kojenců neleze a chodí přímo vzpřímeně, také dochází k překrývání různých vývojových stádií (Lacquaniti, Ivanenko a Zago, 2012, s. 825). Lezení před chůzí má

také vliv na kardiovaskulární a respirační systém, motorické schopnosti a tělesnou zdatnost (Cazorla-González et al., 2022, s. 7).

### **2.5.1 Nezralé a zralé lezení po čtyřech**

První pokusy o zaujetí polohy na čtyřech končetinách a o první kroky jsou považovány ještě za nevyzrálé. Hlava je v reklinaci, což má za následek ventrální flexi pánve. Horní končetiny s lehce semiflektovanými lokty jsou opřeny o ruce a prsty směřují mírně mediálně, což svědčí o lehké vnitřní rotaci v ramenních kloubech. Při nakročení lze vidět asociovanou dorzální flexi hlezenního kloubu, druhý kloub zůstává ve středním postavení. Hlava se nepatrně otáčí na stranu nákročné horní končetiny (Skaličková-Kováčiková, 2017, s. 34).

Během krátké doby se nevyzrálé lezení mění na vyzrálé, kdy již hlava není v reklinaci, pánev směřuje do dorzální flexe, ruce jsou plně rozvinuty a prsty směřují rovně dopředu. V hlezenním kloubu již nepozorujeme dorzální flexi, hlezno je volně taženo za bérce, který je v kontaktu s podložkou. Podélná osa se plynule mění s krokovým cyklem, na straně nákročné dolní končetiny se tvoří konkavita, na straně odrazové konvexita. Hrudní páteř rotuje, bederní úsek se uklání (Skaličková-Kováčiková, 2017, s. 34-35).

### **2.5.2 Neideální až patologické lezení po čtyřech**

Kojenec, u kterého pozorujeme určité odchylky u lezení, má poté problémy s vertikalizací a následnou chůzí ve vertikále. Mezi nejčastější neideální parametry patří asymetrie délky kroků a tzv. krátký krok, kdy se kyčelní kloub nedostane před kolenní. Budoucí problémy mohou signalizovat i laterální pohyb pánve, vnitřní rotace v kyčelním kloubu, opora horních končetin o zápěstí, ne o celou plochu dlaně, a flexe prstů (Skaličková-Kováčiková, 2017, s. 34-35).

Vojta a Peters (2010, s.13) shrnuli podmínky, které jsou důležité a nepostradatelné pro kvadrupedální lokomoci dítěte ve zkříženém vzoru. Tyto podmínky se následně uplatňují během vývoje a jsou potřebné pro bipedální chůzi, která také probíhá ve zkříženém vzoru. Základními předpoklady tedy jsou:

- Pokládání diagonálních končetin v tentýž okamžik.
- Obratle se otáčí ve směru zatížené horní končetiny, v hrudní páteři dochází k rotaci, v bederní páteři k úklonu.
- Osa ramen a pánve vytváří lichoběžník.
- Směr pohybu určuje 3. prst na ruce, loket i paže jsou v nulovém postavení, loket není v uzamčené pozici a rameno by nemělo být rotováno dovnitř.

- Na noze ukazuje směr 2. prstec, končetina je opřena o nárt.

## 2.6 Pohybové vzory a koordinace končetin

Cole et al. (2018, s. 29-38) se ve své práci zabýval testováním opuštěných motorických dovedností, konkrétně lezením, jelikož lze vyvolat jak u kojenců, mladších a starších dětí, tak i u dospělých. Protože lezení zahrnuje oporu všech čtyř končetin, má jedinečný charakter ve srovnání s jinými formami lokomoce. Změnou pořadí a načasování pohybu jednotlivých končetin se lidé (a další živočichové pohybující se kvadrupedálně) mohou přemísťovat s širokou škálou koordinačních vzorců pohybu – chůze, klus a cval. Pro kojence je typické lezení poklusem buď po rukou a kolenou, nebo po rukou a nohou.

Vzorce koordinace končetin nejsou stálé, mění se v závislosti na stabilitě a rychlosti. Méně stabilní podmínky (i pomalejší rychlost) vyžadují větší oporu, kterou může být buď diagonální sekvence končetin, nebo trojbodová opora během stojné fáze (Patrick, Noah a Yang, 2009, s. 610).

Kromě nervové vazby se na souhybu horních a dolních končetin podílí i pasivní biomechanická vazba a přispívá tak ke kývání paží během rychlé lokomoce. Bez ohledu na konkrétně zapojené mechanismy je předpokládáno, že koordinovaný pohyb horních a dolních končetin je nedílnou součástí lidské bipedální lokomoce přispívající ke snížení celkového energetického výdeje (La scaleia et al., 2018, s. 1106, 1113).

### 2.6.1 Diagonální koordinace končetin

Lokomoci s diagonální sekvencí vykazovali již raní čtyřnožci v devonském období. Některé primitivní formy diagonálního koordinačního chování mezi horními a dolními končetinami byly prokázány u spontánních pohybů dítěte kolem 2. měsíce života. Ty následně vymizí a znovu se objeví v 9. až 10. měsíci věku, kdy dítě začíná lézt po rukou a kolenou a využívá zejména diagonální vzor mezi končetinami. Vzory koordinace horních a dolních končetin jsou viditelné hned po narození při plavání dítěte, patologicky poté při epileptickém záchvatu (La scaleia et al., 2018, s. 1106, 1113).

Kojenci se tedy pohybují převážně diagonálním kladením končetin, objevují se ale situace, kdy se končetiny pohybují bez jakékoliv koordinace. Stejně to mají i mláďata ostatních čtyřnožců (Patrick, Noah a Yang, 2009, s. 611).

Při plazení po bříše kojenci využívají nekonzistentní vzorec koordinace končetin (Adolph, Berger a Leo, 2011, s. 307), s čímž ale nesouhlasí Cole et al. (2018, s. 29-38), který tvrdí, že se diagonální vzorec ukazuje již u plazících se dětí. Lezoucí kojenci se pohybují

s konzistentním diagonálním vzorcem končetin a s trupem nad podložkou (Adolph, Berger a Leo, 2011, s. 307). Při prvních krocích dítěte se ale souhyby protilehlých končetin nevyskytují, horní končetiny jsou v ramenou zevně rotované a v loktech flektované, dolní končetiny široce rozkročené. Reciproční souhyby se objevují až později se zlepšením rovnováhy (okolo jeden a půl roku) (La scaleia et al., 2018, s. 1106, 1113; Lacquaniti, Ivanenko a Zago, 2012, s. 825).

Souhrnně lze tedy říci, že lidé vykazují stejnou koordinaci končetin jako ostatní čtyřnožci, což naznačuje společné nervové obvody. Dospělý člověk vykazuje flexibilitu v koordinaci končetin, to u kojenců ale není patrné, poukazuje to na nezralost nervosvalového systému, který kojenci omezuje možnosti (Patrick, Noah a Yang, 2009, s. 612).

## **2.7 Horní končetina**

### **2.7.1 Kineziologie horní končetiny**

Horní končetina je komunikační a uchopovací orgán a s výjimkou kojeneckého období ztratila většinu lokomočních funkcí. Pro svou funkci vyžaduje posturální spolupráci osového orgánu. Ramenní pletenec připojující končetinu k trupu je velmi pohyblivý a umožňuje tak končetině velký rozsah pohybu pro manipulaci. Tím se liší od pevnějšího a stabilnějšího pánevního pletence. Ramenní pletenec a paže jsou hojně osvaleny a generují silový pohyb. Pomocí loketního kloubu mění končetina svou délku. Ruka je zodpovědná za hlavní funkci – úchop. Na dlaňové straně najdeme drobné svaly ruky, na hřbetní straně dlouhé šlachy z předloktí. Ruka je zodpovědná za jemné ale ne příliš silové pohyby (Dylevský 2009, s. 154; Véle, 2006, s. 265).

### **2.7.2 Opora o horní končetinu**

Nižší obratlovci se opírají o distální klouby, tedy o zápěstí. U reflexní lokomoce dle Vojty se dítě opírá o prostřední kloub, tedy loket, čímž je umožněn pohyb předloktí zejména do pronace a zápěstí do dorzální flexe s radiální dukcí. Kojenci lezoucí po čtyřech končetinách se s nižšími obratlovci shodují v podobném umístění opěrného bodu (distální část končetiny). Opěrným bodem jim ale není zápěstí, nýbrž rozvinutá dlaň (Vojta a Peters, 2010, s. 68).

Horní končetina prochází během posturální ontogeneze funkčními i morfologickými změnami. Nejdříve se vytváří oporná funkce, následuje ji cílená manipulační funkce. Až poté se buduje opora o dolní končetiny (Čápová, 2016, s. 72).

Čápová (2016, s. 74) shrnula čtyři vývojové fáze opory o horní končetinu:

- 1. fáze – zavzetí lopatky do svaloviny, lopatka je ve frontální rovině.
- 2. fáze – opora o proximální předloktí.
- 3. fáze – opora o laterální humerus, děje se během obratu.
- 4. fáze – opora o rozvinuté akrum s extendovaným loktem, objevuje se během šikmého sedu, lezení po čtyřech, kvadrupedální vertikalizace.

Charakter účasti paží na lokomoci se značně liší. V případě lezení hrají horní končetiny v mnoha ohledech podobnou roli jako nohy, protože také nesou váhu těla, stabilizují, řídí a pohánějí pohyb (Patrick, Noah a Yang, 2009, s. 611). Při chůzi a běhu je role volných horních končetin minimální, doprovází pohyb dolních končetin a jejich funkce je omezena na pasivní stabilizaci rotací horní části těla. V přechodných případech mezi lezením po čtyřech a chůzí či během, jako je např. laterální chůze kojence s přidržováním, chůze po schodech s pomocí zábradlí, chůze o berlích či nordic walking, horní končetiny sice nenesou váhu těla, ale slouží ke stabilizaci, pohonu a usměrňování pohybu (Harrison, Kuznetsov a Breheim, 2013, s. 239).

## **2.8 Dolní končetina**

### **2.8.1 Kineziologie dolní končetiny**

Základní funkcí dolní končetiny je funkce oporná a lokomoční. Při srovnání s končetinou horní nalezneme podobné znaky, dolní končetina má však silnější kostru, větší množství svalstva a omezenější pohyblivost kloubních spojů zajišťujících větší stabilitu. Jak bylo uvedeno výše, pánev je rigidní útvar, pohyb tedy probíhá v kyčelních kloubech. Důležitou jednotkou je noha, která se ze své původní funkce, již byl úchopu u primátů, adaptovala na absorpci nárazů pomocí příčné a podélné klenby (Dylevský, 2009, s. 171-172).

### **2.8.2 Opora o dolní končetinu**

Opora o dolní končetinu se začíná objevovat při prvních pokusech o lokomoci, přibližně okolo 6. měsíce, kdy se k opoře o jedno předloktí přidává kontralaterální dolní končetina. Při tlaku předloktí do podložky se přes diagonální trupové řetězce realizuje pohyb dolní končetiny. Za vrcholnou fázi opory o dolní končetinu považujeme oporu o plosku nohy, která je posléze využívána při lezení (Čápová, 2016, s. 126).

Čápová stejně jako u opory o horní končetinu shrnula jednotlivé fáze opory i u dolní končetiny:

- 1. fáze – stabilizace pánve.
- 2. fáze – zavedení opory o holeň.

- 3. fáze – vertikalizace femuru, centrace kyčelního kloubu.
- 4. fáze – pohyb acetabula přes hlavici femuru.
- 5. fáze – odpověď akra.

Nižší obratlovci se opírají o plosku nohy, oporným bodem při reflexní lokomoci je koleno (Vojta a Peters, 2010, s. 68).

Stejně jako u opory o horní končetinu došlo nejprve ke stabilizaci lopatek, podobný proces se děje i u pánve. Funkční stabilizace lopatek pomocí horních a dolních fixátorů vyústí k funkčnímu propojení horního a dolního trupu a vede ke vzniku velkých diagonálních řetězců. Tyto řetězce se pak z fázické i opěrné horní končetiny napojí na končetiny dolní. Propojením opěrné horní a opěrné dolní končetiny se celý svalový systém stává funkčním a je připraven k lokomoci (Čápová, 2016, s. 131-133).

### **3 KVADRUPEDÁLNÍ LOKOMOCE POHLEDEM TERAPEUTICKÉHO PŘÍSTUPU**

Člověk se obecně pohybuje převážně chůzí, tedy lokomocí, kterou přímo zajišťuje pánevní pletenec, ne ramenní. Během prvního roku ontogeneze dítěte se s kvadrupedální lokomocí rozvíjí svalové řetězce, které nejsou při bipedální chůzi dále posilovány. Často proto dochází k vertebrogenním potížím a dalším poruchám pohybového aparátu, které léčíme zpětným zapojením ramenního pletence do lokomoce, a to buď návratem k chůzi kvadrupedální (Vojtova či Kabatova metoda), nebo určitými sportovními technikami (Vystrčilová, Kračmar a Novotný, 2006, s. 93).

Kvadrupedální pozice v rehabilitaci nám zatěžuje především horní končetiny, z hlediska kinematiky končetiny s podložkou utváří CKC, proto je možné tuto pozici zařadit do rehabilitačního plánu již během prvních stádií léčby. Při kvadrupedální lokomoci se klient učí vnímat polohu jednotlivých částí těla a v rámci segmentů se zachovanou hybností s nimi aktivně pracovat, případně s dopomocí terapeuta. Při ideálně provedeném pohybu na čtyřech končetinách dochází k centraci kořenových kloubů (ramenní a kyčelní klouby) a tím ke správnému statickému i dynamickému zatížení v těchto kloubech. Je prokázáno, že taková cvičení zvyšují nároky na nervosvalový systém, aby mohlo dojít ke stabilizaci kloubních spojení, zvyšují propriocepci a svalovou kontrolu a koaktivaci (Andrade et al., 2011, s. 65).

#### **3.1 Opora, centrace a stabilizace ramenního kloubu**

Lidský ramenní pletenec lze považovat za dokonalý kompromis mezi pohyblivostí a stabilitou. Celý komplex umožňuje velký rozsah pohybu, který značně převyšuje rozsah v kyčelním kloubu. Více laterálně orientovaná jamka kloubu je výsledkem evoluce, kdy primátům usnadnila vertikální lezení (šplhání). Druhá teorie vychází z širšího využití horních končetin, jako je např. nošení jídla a dalších předmětů (Veeger a van der Helm, 2007, s. 2120).

Za předpokladu správné stability středu těla a funkce CNS jsou svaly rovnovážně aktivovány, pak každé držení těla a každý spontánní pohyb automaticky uvede všechny klouby do funkčně centrované polohy. Funkčně centrovaný kloub není ve statické poloze, jedná se o dynamickou neuromuskulární strategii, která vede k tomu, že se kloub dostane do jeho neoptimalnějšího nastavení, které následně usnadňuje mechanickou výhodu v celém rozsahu pohybu a optimální přenos zatížení přes kloub v celém kinematickém řetězci (Kobesová a Kolář, 2013, s. 6).



Zdravé dítě automaticky využívá ideální svalovou souhru ke stabilizaci páteře, pánve a hrudníku v různých polohách. Představíme-li si fyziologicky lezoucího kojence, všechny jeho klouby jsou v kvadrupedální pozici tedy funkčně centrovány. Tohoto principu může být účinně využito v rehabilitaci k dosažení optimální stabilizace a pohybové výkonnosti (Kobesová a Kolář, 2013, s. 6).

Při nesprávné opoře, nedojde k adekvátní stabilizaci a zacentrování kloubů, tudíž nemůže dojít k ideální svalové souhře, napřimění páteře nebo správnému dechovému stereotypu (Kolář, 2020, s. 243).

Jak už je výše zmíněno, konkrétně stabilizace ramenního pletence není definována jednou statickou polohou, ale kvalitou svalové koordinace ve všech možných polohách kloubu. Nedostatečná proximální stabilizace může omezit schopnost vyvinout maximální sílu úchopu, což testovala a potvrdila Kobesová et al. (2015, s. 26-29). Vycházela v návaznosti na metodu dynamická neuromuskulární stabilizace (dále jen DNS) z kvadrupedálních vývojových pozic – z pozice na čtyřech (opora o dlaně a kolena) a z pozice medvěda (opora o dlaně a prsty na dolních končetinách). Kladla důraz na oporu o dlaně – proporcionální zatížení všech metakarpofalangeálních kloubů, thenaru a hypothenaru, prsty natažené a jakoby „svírající“ podložku. Z výsledku vychází, že ideální polohou pro vyvinutí maximální síly úchopu, je právě tato pozice.

Pro kvalitní funkci horní končetiny je míra volnosti pohybu a kvalita stabilizace ramenního kloubu při zátěži zásadní. Tyto prvky se formují během motorické ontogeneze v několika hierarchických fázích opor. Na to, jak se opěrná funkce během vývoje dítěte formuje, navazuje kvalita všech dalších motorických projevů člověka. Od období šikmého sedu, přes kvadrupedální lokomoci až po vertikalizaci pomocí horních končetin hovoříme o vrcholné opěrné funkci, kdy se po předchozím vývoji stává humerus punktem fixem (pevným bodem), může tedy dojít k pohybu jamky glenohumerálního kloubu přes stabilizovaný humerus, čímž je aktivován lokomoční proces lezení. Pro usměrnění pohybu jamky přes hlavici humeru je podstatná společná aktivita dlouhých hlav m. biceps a triceps brachii. Akrum je opřeno převážně o malíkovou část dlaně s lehkým náznakem pohybu směrem k palci, čímž je facilitována aktivita zevních rotátorů ramene (Čápková, 2008, s. 43-46).

CKC v porovnání s OKC více facilitují všechny zapojené svaly, což vede k optimálnější nervosvalové stabilizaci ramenního kloubu. Zvládnutí rehabilitace v CKC je podmínkou pro cvičení příslušného segmentu v OKC. Ve svém konceptu akrální koaktivační terapie (ACT), který vychází z opory o akra horních a dolních končetin, Palaščíková Špringová klade větší důraz právě na zvládnutí cviků v CKC. Z konceptu vychází, že správné nastavení polohy

aker před a v průběhu cvičení má zásadní vliv na napřímení trupu a aktivaci svalových řetězců. Není-li segment v iniciační fázi pohybu správně nastaven, nedojde ke vzniku dokonalé svalové souhry. Základním nastavením akra horní končetiny je kupolovitá poloha, stejné nastavení, jako pozorujeme při relaxované končetině (Palaščíková Špringová, 2018, s. 14-27).

Kvadrupedální pozice tvoří CKC, stejně tomu tak je i u náznaku pohybu s tendencí přejít do lokomočního provedení. Pokud ale dojde k odlepení jedné končetiny od podložky, tělo vytváří OKC. Existuje značné množství výzkumů, které naznačují, že cvičení v CKC jsou pro pacienty bezpečnější a účinnější než cvičení v OKC, zejména v počáteční fázi rehabilitace. Bylo zjištěno, že axiální zatížení přítomné při cvičení v CKC stimuluje biomechanické situace, které podporují svalovou koaktivaci, a významně zvyšuje proprioceptivní stimulaci ve srovnání se cvičením v OKC (Khademi Kalantari a Berenji Ardestani, 2014, s. 234).

Zdá se, že správné nastavení akra a lokte v opoře je pro stabilitu ramenního pletence důležitější než samotné nastavení ramenního pletence (Khademi Kalantari a Berenji Ardestani, 2014, s. 237).

## 3.2 Neurorehabilitace

Během bipedální chůze člověk využívá prvky kvadrupedálního řízení končetin, které se nachází u čtyřnožců. Jedná se o tzv. CPG, centrální generátory pohybu, které jsou popsány v první kapitole. Tento jev můžeme chápat jako pozůstatek evoluce z dob, kdy se naši předci pohybovali po všech čtyřech končetinách. To, že u člověka přetrvává vývojově stará koordinace končetin, lze aplikovat v dnešní medicíně, konkrétně při rehabilitaci po neurotraumatu, kdy je právě koordinace mezi končetinami narušena (Zehr et al., 2016, s. 3059). Toto propojení umožňuje člověku horní končetiny koordinovaně zapojit do lokomočních úkonů jako je plavání, plazení či chůze, poskytuje ale i jejich odpojení pro manuální práci (Hubli a Dietz, 2013, s. 2).

Zehr et al. (2016, s. 3073) tedy tvrdí, že při neurotraumatu a postižení dolních končetin by měla rehabilitační terapie chůze zahrnovat souběžné koordinované cvičení horních končetin, tedy že pohyb paží přes CPG usnadní nácvik chůze. K této hypotéze se přidal (Klarner et al., 2016, s. 11), který se domnívá, že koordinované rytmické cvičení všech čtyřech končetin podporuje neuroplasticitu mozku u pacientů po cévní mozkové příhodě a zlepšuje jejich chůzi. Tento přístup by si mohl najít cestu v rehabilitaci i u jiných poruch, kde je narušena mezikončetinová koordinace, jako je např. Parkinsonova choroba, dětská mozková obrna nebo roztroušená skleróza (Zehr et al., 2016, s. 3075). Existuje ale i druhá myšlenková linie, a to ta,

že ke generování volního pohybu jsou zapotřebí pouze supraspinální vstupy, tedy že pozůstalé CPG od kvadrupedů se při chůzi člověka neúčastní (Martins, 2015, s. 8).

### **3.3 Nordic Walking**

Severská chůze je poměrně intenzivní aktivita využívající hole k dopomoci při chůzi, čímž se ramenní pletenec zpětně zapojuje do lokomoce. Horní končetina se opírá o hůl, tím vzniká nové punctum fixum na akru, a tedy CKC (Bombieri et al., 2017, s. 8; Škopek, Špulák a Kračmar, 2012, s. 14). Vytvoření puncta fixa na akru odkazuje na původní lokomoci předků člověka. Dochází jakoby k navrácení lokomočního režimu směrem zpět ke kvadrupedii. Jsou osloveny diagonální svalové řetězce vycházející z fylogenetických prvků kvadrupedální lokomoce prvních suchozemských čtyřnožců, které během fylogeneze (a vlastně i ontogeneze) člověka, byly vývojem opuštěny (Kračmar et al., 2011, s. 106). Důkazem je dominantní zapojení m. latissimus dorsi. Stejnou svalovou aktivitu nacházíme u prvků Vojtovy reflexní lokomoce, která je založena na fylogeneticky starých programech (Škopek, Špulák a Kračmar, 2012, s. 15). Dále je to podobnost vytvoření distálního puncta fixa a čtyři fáze lokomoce: nalezení opory, přenos váhy, odraz a nárok. Všechny tyto prvky nalezneme jak u primitivního suchozemského tetrapoda (např. ještěr), tak u lezoucího dítěte a dospělého člověka při chůzi s holemi (Bačáková, Tlašková a Kračmar, 2008, s. 55)

Během nordic walking dochází ke zvýšené svalové aktivitě v oblasti zad a pletence ramenního, může být tedy zařazena do rehabilitačního plánu v rámci prevence či terapie vertebroalgických syndromů (Škopek, Špulák a Kračmar, 2012, s. 16) a jako doplněk po ukončené rehabilitaci pohybové soustavy v oblasti ramenního pletence a trupu (Bačáková, Tlašková a Kračmar, 2008, s. 58). V neposlední řadě je také velkým tématem využití severské chůze u pacientů v počátečních stádiích Parkinsonovy choroby, kdy zlepšují koordinaci švihů horních a dolních končetin, čímž zpomalují zhoršování stability při chůzi (Bombieri et al., 2017, s. 11).

### **3.4 Core – trénink středu těla**

Core trénink udržuje pevný a silný střed těla, který je důležitý pro každý následný pohyb. Střed těla zahrnuje kromě povrchových břišních svalů i břišní svaly hlouběji uložené, bránici, vzpřimovače páteře, některé zádové svalstvo a svaly pánevního dna (Liebman, 2015, s. 6). Chang et al. (2022, s. 2) uvádí, že dobře trénovaný střed těla je nezbytný pro optimální výkon a prevenci zranění.

Cvičení v kvadrupedální pozici vede kromě dynamické stabilizace ramenního a lopatkového pletence, axiálního protažení páteře také ke zpevnění břišního a zádového svalstva (Clemente et al., 2022, s. 2). Dále podporuje dynamickou stabilitu a neuromuskulární kontrolu páteře, je tedy vhodné pro zahájení rehabilitačního programu pro pacienty s low back pain nebo poruchami páteře. Jak již je výše zmíněno, aktivuje břišní a bederní svaly, čímž posiluje stabilitu bederní páteře. Lze využít i několik modifikací této pozice. Při zvednutí jedné horní končetiny se aktivuje homolaterální m. obliquus internus abdominis. Pro posílení břišního svalstva je výhodné nadzvednout kolena nad podložku, pro mobilitu páteře a větší zapojení zádového svalstva lze využít pozici s položenými koleny a střídavého zanožování dolních končetin (Chang et al., 2022, s. 9).

### **3.5 Klappovo lezení**

Terapeutický koncept, který do rehabilitační praxe zavedl ortoped Rudolf Klapp. Nevycházel z fylogenetických ani ontogenetických poznatků o kvadrupedální lokomoci, pouze z empirie získané pozorováním čtyřnožců. Domníval se, že se u nich nevyskytuje skolióza, tudíž pozici na čtyřech využíval i u svých pacientů s poruchami osového orgánu. Princip spočívá v rozložení síly do čtyřbodové opory se současnou lokomocí vpřed, kdy dochází k mobilizaci páteře, zlepšení svalové síly, koordinace a vytrvalosti, posílení svalového korzetu (Kolář, 2020, s. 446).

### **3.6 Terapeutické lezení**

Pohyb za účasti všech čtyřech končetin vykonává člověk i při lezení po horolezecké stěně. Terapeutické lezení netvoří samostatný koncept, ale stalo se doplňkovou formou v rehabilitační praxi u široké škály diagnóz. Souvislost mezi sportem a terapeutickým užitím je nacházena právě v kvadrupedální lokomoci (Baláš, 2022, s. 214). Zásadní pointou lezení je účast svalů celého těla, tedy zapojování svalových smyček, nikoliv pouze jednotlivých svalů či svalových skupin (Grzybowski a Eils, 2011, s. 91).

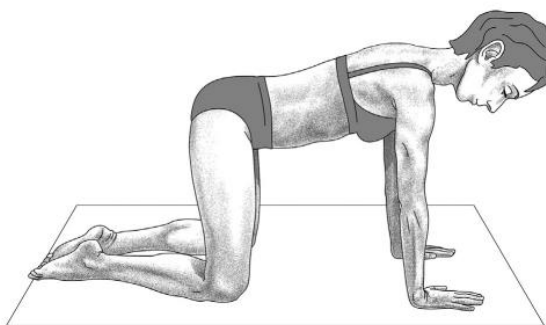
Při terapeutickém lezení probíhá pohyb v kvadrupedálním zkříženém vzoru, kdy díky koordinaci horních končetin, dolních končetin a trupu dochází k zatížení svalů celého těla. Pohyb se děje v CKC, dochází ke kombinaci cílené a opěrné motoriky. Mezi další terapeutické hodnoty můžeme zařadit rozvoj obratnosti a koordinace, zvýšené nároky na kondici nebo rozvoj svalové síly (Francová, Pavlů a Pánek, 2006, s. 30-32).

Využití terapeutického lezení nalézáme u široké škály diagnóz, např. ortopedických – kloubní instabilita, vadné držení těla, či neurologických – roztroušená skleróza,

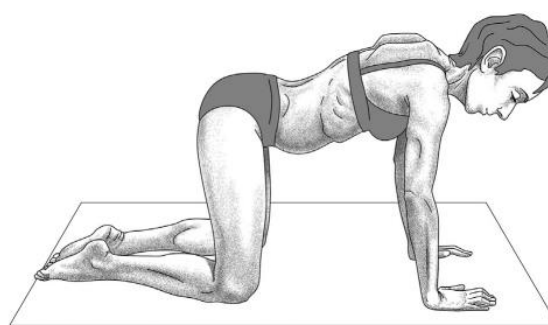
kranio cerebrální trauma (Grzybowski a Eils, 2011, s. 88). Svou úspěšnost uplatňuje zejména u instabilit ramenního kloubu, kdy lezení ve vertikále klade nároky na stabilizaci celého pletence, zejména lopatky. Při dysfunkci dochází k oslabení dolních fixátorů lopatky, tedy m. serratus anterior, mm. rhomboidei, střední a dolní část m. trapezius. U terapeutického lezení byla vykazována právě vysoká aktivita střední a dolní části m. trapezius, z čehož vyplývá, že terapeutické lezení je vhodné zařadit do komplexní léčby při dysfunkci ramenního pletence pro aktivaci výše zmíněných svalů (Francová, Pavlů a Pánek, 2006, s. 36-37). Toto tvrzení ve své práci podporuje i Balharová, kdy kromě zapojení střední a dolní části m. trapezius dochází i k aktivaci dalšího důležitého stabilizátoru lopatky – m. serratus anterior (Balharová, 2010, s. 95). Výrazně vyšší zapojení m. serratus anterior při lokomočním zkříženém vzoru pro zastabilizování lopatky potvrzují ve své práci i Vystrčilová, Kračmar a Novotný (2006, s. 97).

### 3.7 Testování v pozici na čtyřech

Kvadrupedální pozice neslouží v rehabilitaci pouze jako terapeutický prvek, může být využita terapeutem jako diagnostický test s dobrou výpovědní hodnotou. Pacient se opírá o ruce a kolena, pomalu posune těžiště lehce směrem vpřed a setrvá přibližně 30 sekund. Terapeut sleduje opornou funkci aker a stabilitu trupu. V ideálním případě obě ruce poskytují oporu a zároveň udržují funkčně centrovanou polohu, palcová i malíková část jsou rovnoměrně zatíženy, prsty volně „svírají“ podložku, lopatky přiléhají k hrudníku, páteř je v prodloužení, břišní stěna je aktivována (obrázek 5). Za patologických podmínek dochází k decentraci rukou. Malíková část nese větší váhu, palcová část se od podložky odlepuje, loket je flektován, lopatka ztrácí neutrální pozici a dochází ke sklonu pánve (obrázek 6). (Kobesová et al., 2020, s. 90).

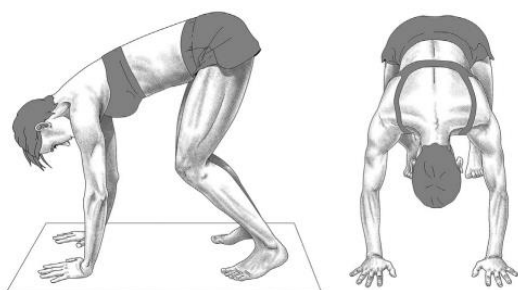


**Obrázek 6** Fyziologická pozice  
(Kobesová et al., 2020)

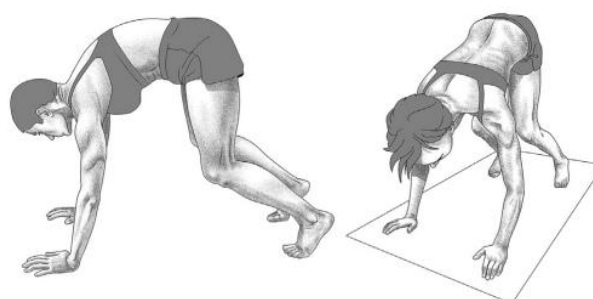


**Obrázek 5** Patologická pozice  
(Kobesová et al., 2020)

Testování lze provést i ve vyšší pozici, kdy se hodnocená osoba opírá o akra horních i dolních končetin, pánev je výše než hlava. Výdrž v poloze by měla být přibližně 60 sekund (Kobesová et al., 2020, s. 91). Fyziologicky jsou klouby dolních i horních končetin v centrovaném postavení, dlaně se opírají rovnoměrně celou plochou, lopatky přiléhají k hrudníku a páteř je v napřímení (obrázek 7). Při patologii dochází ke kyfotizaci hrudní a bederní páteře, tudíž není možné její napřímení. Lopatky od hrudníku odstávají, ramenní i kyčelní klouby jsou vnitřně rotovány, palcová část dlaně je při opoře více zatížená (obrázek 8). Při přenesení hmotnosti více nad horní končetiny dojde ke zvýraznění těchto nedostatečností (Kolář, 2020, s. 56).



**Obrázek 8** Fyziologická vyšší pozice  
(Kobesová, 2020, s. 91)



**Obrázek 7** Patologická vyšší pozice  
(Kobesová et al., 2020, s. 91)

## DISKUZE

V současné rehabilitační praxi existuje mnoho metod, jak přivést člověka zpět ke zdraví. Od prvků manuální medicíny, přes metody založené na neurofyziologickém podkladě či ontogenetickém vývoji člověka. Kvadrupedální lokomoce je často její součástí, a to u širokého spektra různých diagnóz. Od poruch ramenního pletence, přes vertebrogenní potíže, vadné držení těla až po cévní mozkovou příhodu či Parkinsonovu chorobu. V každém z těchto případů je ale na kvadrupedii nahlíženo z jiného směru, tím se mění i cíl jejího využití.

Několik konceptů z české rehabilitace je založeno na vývojové kineziologii, což znamená, že vychází z ontogenetického vývoje dítěte, z jeho ideální postury během prvního roku života, zahrnují tedy i kvadrupedální lokomoci. Kolář se ve svém konceptu DNS soustředí na správné držení těla, z čehož následně vychází správná centrace kloubů a optimální dechový stereotyp (Kobesová, Valouchová a Kolář, 2014, s. 25). Čáповé pojetí konceptu bazální posturální programy využívá pohybové vzorce zdravých kojenců, které vedou k fyziologické hybnosti (Čáповá, 2016, s. 62). Důraz je při kvadrupedální pozici kladen zejména na oporu o akrum horní končetiny. Kolář (2020, s. 243) poukazuje na fakt, že při nesprávné opoře nedojde k adekvátní centraci kloubů, tudíž ani k ideální svalové souhře. To potvrzuje i Palaščíková Špringová (2018, s. 27), která ve svém konceptu ACT také vychází z vývojových pozic. Tvrdí, že při nesprávném nastavení akra nedojde k napřímení trupu a aktivaci svalových řetězců v těle. Bastlová et al. (2011, s. 7) nahlíží na daný problém opačným směrem a uvádí, že pro kvalitní aktivitu akra končetin je důležitá centrace proximálních kloubů. Využití vývojových pozic v terapii vyvolává správnou koaktivaci svalových párů ve smyslu agonisty a antagonisty, podporuje zejména aktivitu fázických svalů (Casas, Justes a Calvo, 2018, s. 10).

Zcela jiný pohled na terapii přes kvadrupedální lokomoci přináší neurorehabilitace. Zde není základním rysem pozice, ale diagonální koordinace končetin, která je evolučně umožněna přes CPG – fylogeneticky staré vzory našich předků z dob, kdy se pohybovali po čtyřech končetinách. Zehr et al. (2016, s. 3073) tvrdí, že pro snadnější nácvik chůze po neurotraumatu by měla terapie zahrnovat i koordinované cvičení horních končetin. K této hypotéze se přidává Klarner et al. (2016, s. 11), podle kterého koordinované cvičení horních i dolních končetin ve zkříženém vzoru podporuje neuroplasticitu mozku u pacientů po cévní mozkové příhodě, čímž podporuje nácvik chůze. Oproti tomu se Martins (2015, s. 8) domnívá, že se CPG při chůzi člověka neúčastní, tudíž není možné je v neurorehabilitaci využít.

Klapp ve svém konceptu používal k léčbě kvadrupedální lokomoci v několika modifikacích. Nevycházel z fylogenetických ani ontogenetických poznatků o kvadrupedii,

pouze z čisté empirie získané pozorováním čtyřnožců, u kterých se domníval, že se nevyskytuje skolióza (Kolář, 2020, s. 446).

Podobně jako Klapp nevycházel z fylogeneze ani ontogeneze, tak ani u posilování středu těla nenalzááme tyto souvislosti. Zde se jedná o trénink svalů v určité pozici, a to buď v CKC nebo OKC. V CKC je ruka v kontaktu se stabilním či nestabilním povrchem, tudíž navíc podporuje propriocepci a svalovou koaktivaci v okolí ramenního pletence (Uhl et al., 2003, s. 109). Pontillo et al. (2007, s. 95) a následně i Khademi Kalandri a Berenji Ardestani (2014, s. 5) ve své práci poukazují na to, že nestabilní povrch pod horními končetinami při kvadrupedální pozici nemá větší vliv na stabilitu ramenního pletence než při povrchu stabilním.

Kvadrupedální lokomoci nalzááme i ve sportovním odvětví, konkrétně u nordic walking. Zde nacházíme spojení s fylogenezí, kdy vytvoření puncta fixa na akru horní končetiny odkazuje na lokomoci předků člověka. Dále jsou osloveny diagonální svalové řetězce vycházející z prvků kvadrupedální lokomoce, které byly během fylogeneze člověka vývojem opuštěny (Kračmar et al., 2011, s. 106). Tyto řetězce mezi ramenním pletencem a dolní částí těla jsou při nordic walking posilovány, což může být využito jako prevence vertebrogenních potíží nebo jako součást rehabilitace. Lokomoce při chůzi s holemi ale nemůže být brána jako kvadrupedální lokomoce ve vertikální poloze, jelikož ramenní pletenec zde nepřebírá antigraavitacní funkci, ale pouze se do lokomoce zapojuje (Škopek, Špulák a Kračmar, 2012, s. 16-17).

Další oblastí sportu, ve které nacházíme propojení kvadrupedie s rehabilitací, je terapeutické lezení. Lezení po horolezecké stěně probíhá ve zkříženém lokomočním vzoru a podobně jako u nordic walking dochází k zapojení diagonálních svalových řetězců (Grzybowski a Eils, 2011, s. 91). Kromě toho dochází i k rozvoji obratnosti a koordinace, zvyšování svalové síly. Terapeutické lezení se objevuje zejména v terapii instabilit ramenního kloubu, kdy jsou oslabeny dolní fixátory lopatky. Francová, Pavlů a Pánek (2006, s. 36) při terapeutickém lezení potvrzují zvýšenou aktivitu střední a dolní části m. trapezius, následně Balharová (2010, s. 95) uvádí i aktivaci m. serratus anterior. Tento sval je zapojen v lokomočním zkříženém vzoru přes pletenec ramenní (Vystrčilová, Kračmar a Novotný, 2006, s. 97).

Kvadrupedální lokomoce má tedy své využití v rehabilitační terapii, a to jak v souvislosti s fylogenezí či ontogenezí, tak i bez zřetelných vývojových aspektů.



## ZÁVĚR

Jedním ze dvou cílů práce bylo podat základní teoretické poznatky o kvadrupedální lokomoci vycházející z fylogenetického a ontogenetického vývoje člověka.

V devonském období došlo k přechodu lalokoploutvých ryb na souš, čímž vznikli první čtyřnožci. Změna prostředí si vyžádala mnoho morfologických a anatomických transformací jako vznik kráčivých končetin či přechod z žaberního na plicní dýchání. Dalším evolučním pochodem byla addukce končetin pod trup. První primitivní čtyřnožci měli končetiny v abdukčním postavení a trup se stýkal s podložkou. Zde vidíme analogii v ontogenezi člověka, kdy se kojeneček plazí. Vyspělejší čtyřnožci již mají končetiny addukované pod trup, podobně jako motoricky vyspělejší lezoucí dítě.

Stejně jako lokomoce většiny čtyřnožců, tak i kvadrupedální a dokonce i bipedální lokomoce u člověka probíhá ve zkříženém vzoru. Lze tedy říci, že lidé vykazují stejnou koordinaci končetin jako ostatní čtyřnožci, což poukazuje na společné nervové obvody. Zkřížený lokomoční pohyb je zajištěn od počátku mimo jiné diagonálními svalovými řetězci, které jsou u člověka zachovány dodnes. Viditelné jsou například u fázického pohybu horních končetin, který nesměruje přesně podle anatomických os, ale směruje diagonálně.

V ontogenetickém vývoji člověka se s kvadrupedální lokomocí setkáváme okolo 8.-9. měsíce věku. Zprvu vidíme nevyzrálé nedokonalé lezení, které se během krátké doby mění na zralé. V průběhu, kdy kojeneček využívá lezení jako hlavní prostředek lokomoce, nalezneme mnoho variant a typů lezení, např. s oporou o ruce a kolena, následně s oporou o ruce a akra dolních končetin.

Druhým cílem práce bylo popsat poznatky o využití kvadrupedální lokomoce v současné rehabilitační praxi a nalezení možného propojení s fylogenezí a ontogenezí. Kvadrupedální lokomoci lze zařadit do terapie u široké škály diagnóz. Od ortopedických, přes neurologické až po traumatologické. Dále u vertebrogenních potíží, instabilit ramenního kloubu, skoliózy či vadného držení těla. Použití kvadrupedální lokomoce v terapii může mít, a taky má, u každé diagnózy jiný význam.

Kolář a Čápková ve svých konceptech využívají kvadrupedální lokomoci na podkladě vývojové kineziologie za účelem správné centrace kloubu vedoucí k fyziologické hybnosti a správnému dechovému stereotypu. Důraz je kladen na správnou oporu o akrum, i když se v obou konceptech nastavení akra mírně odlišuje. Vývojovou kineziologii a oporu o akrum ve svém konceptu aplikuje i Palaščíková Špringová.

Kvadrupedální lokomoce lze využít i z pohledu neurorehabilitace v návaznosti na fylogenetické neurální obvody a staré pohybové kvadrupedální vzorce. Zde je v terapii využít zejména záměr zkřížené koordinace končetin, na který navazuje cíl vzpřímené bipedální chůze, která probíhá také ve zkříženém lokomočním vzoru.

U Klappova lezení vycházel jeho autor pouze z empirie, podobně ani u core tréninku nebyly nalezeny fylogenetické ani ontogenetické spojitosti.

V případě sportovního odvětví se vracíme opět ke vztahu s fylogenezí, kdy jsou jak u nordic walking, tak i u terapeutického lezení zpětně zapojeny ramenní pletence do lokomoce a s nimi i diagonální svalové řetězce.

Oba cíle práce byly splněny. Byla provedena rešeršní činnost, která podává základní poznatky o kvadrupedální lokomoci z pohledu fylogeneze, ontogeneze a terapie. Následně byly popsány souvislosti kvadrupedální lokomoce a fylogeneze či ontogeneze při využití v rehabilitační terapii.

## REFERENČNÍ SEZNAM

ADOLPH, K. E., BERGER, S. E., LEO, A. J. 2011. Developmental continuity? Crawling, cruising, and walking. *Developmental Science* [online]. 14(2), 306-318 [cit. 2023-02-22]. ISSN 1363755X. Dostupné z: doi:10.1111/j.1467-7687.2010.00981.x.

ADOLPH, K. E., FRANCHAK, J. M. 2016. The development of motor behavior. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science* [online]. 8(1-2) [cit. 2023-02-22]. ISSN 1939-5078. Dostupné z: doi:10.1002/wcs.1430.

AHLBERG, P. E., CLACK, J. A., BLOM, J. 2005. The axial skeleton of the Devonian tetrapod *Ichthyostega*. *Nature* [online]. 437(7055), 137-140 [cit. 2022-11-12]. ISSN 0028-0836. Dostupné z: doi:10.1038/nature03893.

ANDRADE, R., ARAÚJO, R. C., TUCCI, H. T., MARTINS, J., OLIVEIRA, A. S. 2011. Coactivation of the shoulder and arm muscles during closed kinetic chain exercises on an unstable surface. *Singapore Med J* [online]. 52(1), 35-41 [cit. 2023-03-23]. PMID: 21298239.

BAČÁKOVÁ, R., TLAŠKOVÁ R., KRAČMAR, B. 2008. Nordic walking jako postrehabilitační pohybový režim. *The Scientific Journal for Kinanthropology*. (1), 53-58.

BALÁŠ, J. 2022. *Fyziologické aspekty výkonu ve sportovním lezení* (2.vyd.) Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum. ISBN 978-80-246-5220-7.

BALHAROVÁ, Z. 2010. *Využití horolezecké stěny ve fyzioterapii*. Diplomová práce. Univerzita Palackého: Olomouc.

BASTLOVÁ, P., KROBOT, A., ZÍTKOVÁ, L., MÍKOVÁ, M. 2011. Svalové synergie horní končetiny: POLYEMG studie pro klinickou praxi. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*. 18(1), 3-8.

BOMBIERI, F., SCHENA, F., PELLEGRINI, B., BARONE, P., TINAZZI, M., ERRO, R. 2017. Walking on four limbs: A systematic review of Nordic Walking in Parkinson disease. *Parkinsonism & Related Disorders* [online]. 38, 8-12 [cit. 2023-03-29]. ISSN 13538020. Dostupné z: doi:10.1016/j.parkreldis.2017.02.004.

CARROLL, R. L., IRWIN, J., GREEN, D. M. 2005. Thermal physiology and the origin of terrestriality in vertebrates. *Zoological Journal of the Linnean Society* [online]. 143, 345-358 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.2005.00151.x>.

CASAS, E., JUSTES, A., CALVO, C. 2019. Exercises in Motor Development Positions. What Happens With the Activity of Antagonist Muscle Pairs? Pilot Study. *Journal of Sport Rehabilitation* [online]. 28(1) [cit. 2023-04-20]. ISSN 1056-6716. Dostupné z: doi:10.1123/jsr.2017-0389.

CAZORLA-GONZÁLEZ, J., GARCÍA-RETORTILLO, S., GACTO-SÁNCHEZ, M., MUÑOZ-CASTRO, G., SERRANO-FERRER, J., ROMÁN-VIÑAS, B., LÓPEZ-BERMEJO, A., FONT-LLADÓ, R., PRATS-PUIG, A. 2022. Effects of Crawling before Walking: Network Interactions and Longitudinal Associations in 7-Year-Old Children. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online]. 19(9) [cit. 2023-03-10]. ISSN 1660-4601. Dostupné z: doi:10.3390/ijerph19095561.

CÍBOCHOVÁ, R. 2004. Psychomotorický vývoj dítěte v prvním roce života. *Pediatric pro praxi*. 6, 291-297.

CLEMENTE, P. C., DE ALMEIDA, L. L., VICENTE, E. J. D., FONSECA, D. S., SOUZA, V. H., FELÍCIO, D. C., GARCIA, A. M. C. 2022. Perceived exertion, postural control, and muscle recruitment in three different quadruped exercises performed by healthy women. *Frontiers in Physiology* [online]. 13 [cit. 2023-04-05]. ISSN 1664-042X. Dostupné z: doi:10.3389/fphys.2022.948469.

COLE, W. G., VEREIJKEN, B., YOUNG, J. W., ROBINSON, S. R., ADOLPH, K. E. 2019. Use it or lose it? Effects of age, experience, and disuse on crawling. *Developmental Psychobiology* [online]. 61(1), 29-42 [cit. 2023-02-07]. ISSN 00121630. Dostupné z: doi:10.1002/dev.21802.

COATES, M. I., JEFFERY, J. E., RUTA, M. 2002. Fins to limbs: what the fossils say1. *Evolution and Development* [online]. 4(5), 390-401 [cit. 2022-11-09]. ISSN 1520-541X. Dostupné z: doi:10.1046/j.1525-142X.2002.02026.x.

CUPELLO, C., HIRASAWA, T., TATSUMI, N., YABUMOTO, Y., GUERIAU, P., ISOGAI, S., MATSUMOTO, R., SARUWATARI, T., KING, A., HOSHINO, M., UESUGI, K., OKABE, M., BRITO, P. M. 2022. Lung evolution in vertebrates and the water-to-land

transition. *ELife* [online]. 11 [cit. 2023-02-11]. ISSN 2050-084X. Dostupné z: doi:10.7554/eLife.77156.

ČÁPOVÁ, J. 2008. *Terapeutický koncept "Bazální programy a podprogramy"*. Ostrava: Repronis. ISBN 978-80-7329-180-8.

ČÁPOVÁ, J. 2016. *Od posturální ontogeneze k terapeutickému konceptu*. Ostrava: Repronis. ISBN 978-80-7329-418-2.

DAESCHLER, E. B., SHUBIN, N. H., JENKINS, F. A. 2006. A Devonian tetrapod-like fish and the evolution of the tetrapod body plan. *Nature* [online]. 440(7085), 757-763 [cit. 2022-11-09]. ISSN 0028-0836. Dostupné z: doi:10.1038/nature04639.

DIETZ, V. 2011. Quadrupedal coordination of bipedal gait: implications for movement disorders. *Journal of Neurology* [online]. 258(8), 1406-1412 [cit. 2023-02-23]. ISSN 0340-5354. Dostupné z: doi:10.1007/s00415-011-6063-4.

DYLEVSKÝ, I. 2007. *Obecná kineziologie*. Praha: Grada Publishing a.s. ISBN 978-80-247-1649-7.

DYLEVSKÝ, I. 2009. *Funkční anatomie*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-3240-4.

FRANCOVÁ, J., PAVLŮ, D., PÁNEK, D. 2006. Možnosti využití terapeutického lezení ve fyzioterapii. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*. 13(1), 29-37.

FRÖBISCH, N. B. 2016. Teenage tetrapods. *Nature* [online]. 537(7620), 311-312 [cit. 2023-02-11]. ISSN 0028-0836. Dostupné z: doi:10.1038/nature19432.

GAISLER, J. 2000. *Panoráma biologické a sociokulturní antropologie: modulové učební texty pro studenty antropologie a "příbuzných" oborů*. Brno: Nadace Universitas Masarykiana, Scientia. ISBN 80-210-2461-5.

GIARDINA, F., MAHADEVAN, L. 2021. Models of benthic bipedalism. *Journal of The Royal Society Interface* [online]. 18(174) [cit. 2022-12-16]. ISSN 1742-5689. Dostupné z: doi:10.1098/rsif.2020.0701.

GRZYBOWSKI, C., EILS, E. 2011. Therapeutic climbing – barely explored but widely used. *Sportverletzung-Sportschaden* [online]. 25(2), 87-92 [cit. 2023-04-14]. ISSN 0932-0555. Dostupné z: doi:0.1055/ s-0029-1245539.

HARRISON, S. J., KUZNETSOV, N., BREHEIM, S. 2013. Flexible Kinesthetic Distance Perception: When Do Your Arms Tell You How Far You Have Walked? *Journal of Motor Behavior* [online]. 45(3), 239-247 [cit. 2023-02-13]. ISSN 0022-2895. Dostupné z: doi:10.1080/00222895.2013.785925.

HOGERVORST, T., BOUMA, H. W., DE VOS, J. 2009. Evolution of the hip and pelvis. *Acta Orthopaedica* [online]. 80, 1-39 [cit. 2023-02-22]. ISSN 1745-3674. Dostupné z: doi:10.1080/17453690610046620.

HUBLI, M., DIETZ, V. 2013. The physiological basis of neurorehabilitation – locomotor training after spinal cord injury. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* [online]. 10(1) [cit. 2023-03-24]. ISSN 1743-0003. Dostupné z: doi:10.1186/1743-0003-10-5.

CHANG, X. Q., CHEN, X. P., SHEN, Y. X., WANG, K., HUANG, S. J., QI, Y., NIU, W. X. 2022. The deer play in Wuqinxi and four-point hand–knee kneeling positions for training core muscle function and spinal mobility. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* [online]. 10 [cit. 2023-04-05]. ISSN 2296-4185. Dostupné z: doi:10.3389/fbioe.2022.965295.

KHADEMI KALANTARI, K., BERENJI ARDESTANI, S. 2014. The effect of base of support stability on shoulder muscle activity during closed kinematic chain exercises. *Journal of Bodywork and Movement Therapies* [online]. 18(2), 233-238 [cit. 2023-04-06]. ISSN 13608592. Dostupné z: doi:10.1016/j.jbmt.2013.08.005.

KING, H. M., SHUBIN, N. H., COATES, M. I., HALE, M. E. 2011. Behavioral evidence for the evolution of walking and bounding before terrestriality in sarcopterygian fishes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [online]. 108(52), 21146-21151 [cit. 2022-12-16]. ISSN 0027-8424. Dostupné z: doi:10.1073/pnas.1118669109.

KLARNER, T., BARSS, T. S., SUN, Y., KAUPP, CH., LOADMAN, P. M., ZEHR, P. 2016. Exploiting Interlimb Arm and Leg Connections for Walking Rehabilitation: A Training Intervention in Stroke. *Neural Plasticity* [online]. 1-19 [cit. 2023-03-24]. ISSN 2090-5904. Dostupné z: doi:10.1155/2016/1517968.

KOBESOVÁ, A., KOLÁŘ, P. 2013. Developmental kinesiology: Three levels of motor control in the assessment and treatment of the motor system, *Journal of Bodywork & Movement Therapies* [online]. 18(1), 23-33 [cit. 2022-12-21]. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbmt.2013.04.002>.

KOBESOVÁ, A., VALOUCHOVÁ, P., KOLÁŘ, P. 2014. Dynamic Neuromuscular Stabilization: Exercises based on developmental kinesiology models. *Functional Training Handbook*. Philadelphia: Wolters & Kluwer; p. 25-51.

KOBESOVA, A., DZVONIK, J., KOLAR, P., SARDINA, A., ANDEL, R. 2015. Effects of shoulder girdle dynamic stabilization exercise on hand muscle strength. *Isokinetics and Exercise Science* [online]. 23(1), 21-32 [cit. 2023-03-30]. ISSN 18785913. Dostupné z: doi:10.3233/IES-140560.

KOBESOVA, A., DAVIDEK, P., MORRIS, C. E., ANDEL, R., MAXWELL, M., OPLATKOVA, L., SAFAROVA, M., KUMAGAI, K., KOLAR, P. 2020. Functional postural-stabilization tests according to Dynamic Neuromuscular Stabilization approach: Proposal of novel examination protocol. *Journal of Bodywork and Movement Therapies* [online]. 24(3), 84-95 [cit. 2023-04-07]. ISSN 13608592. Dostupné z: doi:10.1016/j.jbmt.2020.01.009.

KOLÁŘ, P. et al. 2020. *Rehabilitace v klinické praxi* (2.vyd.). Praha: Galén. ISBN 978-80-7492-500-9.

KRAČMAR, B., BAČÁKOVÁ, R., MIKULÍKOVÁ, P., HROUZOVÁ, L., HOJKA, V. 2011. Nordic walking, vliv na pohybovou soustavu člověka. *Česká kinantropologie*. 15(1), 99-108.

KRAČMAR, B., CHRÁSTKOVÁ, M., BAČÁKOVÁ R. 2016. *Fylogeneze lidské lokomoce*. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum. ISBN 978-80-246-3379-4.

KROBOT, A., MÍKOVÁ, M., BASTLOVÁ, P. 2004. Poznámky k vývojovým aspektům rehabilitace poruch ramene. *Rehabilitace a fyzikální lékařství: Rehabilitation and physical medicine*, č.2. Praha: Česká lékařská společnost J. E. Purkyně, 1994-. ISSN 1211-2658.

KROKER, P. 1999. The problem of remaining upright. *BMJ* [online]. 319(7220), 1300-1300 [cit. 2023-03-10]. ISSN 0959-8138. Dostupné z: doi:10.1136/bmj.319.7220.1300.

LACQUANITI, F., IVANENKO, Y. P., ZAGO, M. 2012. Development of human locomotion. *Current Opinion in Neurobiology* [online]. 22(5), 822-828 [cit. 2023-02-22]. ISSN 09594388. Dostupné z: doi:10.1016/j.conb.2012.03.012.

LARSON, S. G., STERN, J. T. 2007. Humeral retractor EMG during quadrupedal walking in primates. *Journal of Experimental Biology* [online]. 210(7), 1204-1215 [cit. 2022-12-16]. ISSN 1477-9145. Dostupné z: doi:10.1242/jeb.002337.

LA SCALEIA, V., IVANENKO, Y., FABIANO, A., SYLOS-LABINI, F., CAPPELLINI, G., PICONE, S., PAOLILLO, P., DI PAOLO, A., LACQUANITI, F. 2018. Early manifestation of arm–leg coordination during stepping on a surface in human neonates. *Exp Brain Res* [online]. 236, 1105–1115 [cit. 2023-01-05]. Dostupné z: doi:10.1007/s00221-018-5201-y.

LIEBERMAN, D. 2016. *Příběh lidského těla: evoluce, zdraví a nemoci*. Přeložil Jaromír VICARI. Brno: Jan Melvil Publishing, Pod povrchem. ISBN 978-80-7555-005-7.

LIEBMAN, H. L. 2015. *Střed těla: core trénink: přehledný průvodce pro posílení všech svalů*. Praha: Ikar. ISBN 978-80-249-2744-2.

LIŠKA, M. 2010. *Fylogenetické aspekty lidské lokomoce*. Diplomová práce. Univerzita Karlova: Praha.

MARDER, E., BUCHER, D. 2001. Central pattern generators and the control of rhythmic movements. *Current Biology* [online]. 11(23), R986-R996 [cit. 2022-12-16]. ISSN 09609822. Dostupné z: doi:10.1016/S0960-9822(01)00581-4.

MARTINS, Â. 2015. The importance of the quadruped animal model in functional neurorehabilitation in the human biped. *International Archives of Medicine* [online]. [cit. 2023-03-24]. ISSN 17557682. Dostupné z: doi:10.3823/1777.

MARZKE, M. W. 2009. Upper-Limb Evolution and Development. *Journal of Bone and Joint Surgery* [online]. 91, 26-30 [cit. 2023-02-22]. ISSN 0021-9355. Dostupné z: doi:10.2106/JBJS.I.00102.

MATTHEWS, M. J., YUSUF, M., DOYLE, C., THOMPSON, C. 2016. Quadrupedal movement training improves markers of cognition and joint repositioning. *Human Movement Science* [online]. 47, 70-80 [cit. 2023-02-22]. ISSN 01679457. Dostupné z: doi:10.1016/j.humov.2016.02.002.



MICHALÍČEK, P., VACEK, J. 2014. Rameno v kostce – I.část. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*. 2014, č. 3, 151-162.

MIHULKA, S. 2006. Tiktaalik dobyvatel souše. *Nature* [on-line]. 440, s. 757-763 a 764-771, [cit. 2022-11.9.]. Dostupné na World wide web: [:: OSEL.CZ ::](http://www.osel.cz) - Tiktaalik dobyvatel souše.

PALAŠČÁKOVÁ ŠPRINGROVÁ, I. 2018. *Akrální koaktivační terapie: Acral coactivation therapy*. (3.vyd.) Čelákovice: ACT centrum. ISBN 978-80-906440-7-6.

PATRICK, S. K., NOAH, J. A., F. YANG, J. F. 2012. Developmental constraints of quadrupedal coordination across crawling styles in human infants. *Journal of Neurophysiology* [online]. 107(11), 3050-3061 [cit. 2023-02-08]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: doi:10.1152/jn.00029.2012.

PATRICK, S. K., NOAH, J. A., YANG, J. F. 2009. Interlimb Coordination in Human Crawling Reveals Similarities in Development and Neural Control With Quadrupeds. *Journal of Neurophysiology* [online]. 101(2), 603-613 [cit. 2023-02-09]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: doi:10.1152/jn.91125.2008.

PAVLIDIS, E., CANTALUPO, G., CATTANI, L., TASSINARI, C. A., PISANI, F. 2016 Neonatal seizure automatism and human inborn pattern of quadrupedal locomotion. *Gait & Posture* [online]. 49: 232-234 [cit. 2023-01-6]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.07.015>.

PONTILLO, M., ORISHIMO, K. F., KREMENIC, I. J., MCHUGH, M. P., MULLANEY, M. J., & TYLER, T. F. 2007. Shoulder musculature activity and stabilization during upper extremity weight-bearing activities. *North American journal of sports physical therapy: NAJSPT*, 2(2), 90.

PONTZER, H. 2017. Economy and Endurance in Human Evolution. *Current Biology* [online]. 27(12), R613-R621 [cit. 2022-12-16]. ISSN 09609822. Dostupné z: doi:10.1016/j.cub.2017.05.031.

RAICHLIN, D. A. 2005. Effects of limb mass distribution on the ontogeny of quadrupedalism in infant baboons (*Papio cynocephalus*) and implications for the evolution of primate quadrupedalism. *Journal of Human Evolution* [online]. 49(4), 415-431 [cit. 2022-12-22]. ISSN 00472484. Dostupné z: doi:10.1016/j.jhevol.2005.05.004.

RIGHETTI, L., NYLÉN, A., ROSANDER, K., IJSPEERT, A. J. 2015. Kinematic and Gait Similarities between Crawling Human Infants and Other Quadruped Mammals. *Frontiers in Neurology* [online]. 6 [cit. 2023-02-07]. ISSN 1664-2295. Dostupné z: doi:10.3389/fneur.2015.00017.

ROČEK, Z. 2002. *Historie obratlovců: evoluce, fylogeneze, systém*. Praha: Academia. ISBN 80-200-0858-6.

SCHILLING, N. 2011. Evolution of the axial system in craniates: morphology and function of the perivertebral musculature. *Frontiers in Zoology* [online]. 8(1) [cit. 2022-12-16]. ISSN 1742-9994. Dostupné z: doi:10.1186/1742-9994-8-4.

SCHMIDT, M. 2010. Locomotion and postural behaviour. *Advances in Science and Research* [online]. 5(1), 23-39 [cit. 2022-12-16]. ISSN 1992-0636. Dostupné z: doi:10.5194/asr-5-23-2010.

SKALIČKOVÁ-KOVÁČIKOVÁ, V. 2017. *Diagnostika a fyzioterapie hybných poruch dle Vojty*. Olomouc: RL-CORPUS, s.r.o. ISBN 978-80-270-2292-2.

ŠKOPEK., M., ŠPULÁK, D., KRAČMAR, B. 2012. Monitoring of changes of the involvement by EMG in the areas of pelvic girdle, shoulder girdle and back in the process of walking and Nordic walking. *Journal of outdoor activities*. 6(1), 5-18.

UHL, T. L., CARVER, T. J., MATTACOLA, C. G., MAIR, S. D., NITZ, A. J. 2003. Shoulder Musculature Activation During Upper Extremity Weight-Bearing Exercise. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* [online]. 33(3), 109-117 [cit. 2023-04-20]. ISSN 0190-6011. Dostupné z: doi:10.2519/jospt.2003.33.3.109.

VANČATA, V. 2003a. *Panoráma biologické a sociokulturní antropologie: modulové učební texty pro studenty antropologie a "příbuzných" oborů*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, Scientia (Nauma). ISBN 8072042726.

VANČATA, V. 2003b. *Primatologie: Díl 1.: Evoluce, adaptace, ekologie a chování primátů – Prosimii a Platyrrhina*. Praha: Univerzita Karlova. ISBN 80-7290-093-5.

VEEGER, H. E. J., VAN DER HELM, F.C.T. 2007. Shoulder function: The perfect compromise between mobility and stability. *Journal of Biomechanics* [online]. 40(10), 2119-2129 [cit. 2023-03-24]. ISSN 00219290. Dostupné z: doi:10.1016/j.jbiomech.2006.10.016.

VÉLE, F. 2006. *Kineziologie: přehled klinické kineziologie a patokineziologie pro diagnostiku a terapii poruch pohybové soustavy* (2.vyd.). Praha: Triton. ISBN 80-7254-837-9.

VOJTA, V., PETERS, A. 2010. *Vojtův princip: svalové souhry v reflexní lokomoci a motorické ontogenezi* (3.vyd.). Praha: Grada. ISBN 978-80-247-2710-3.

VYSTRČILOVÁ, M., KRAČMAR, B., NOVOTNÝ, P. 2006. Ramenní pletenec v režimu kvadrupedální lokomoce. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*. 2006, roč. 13, č. 2.

YANO, T., TAMURA, K. 2013. The making of differences between fins and limbs. *Journal of Anatomy* [online]. 222(1), 100-113 [cit. 2022-11-02]. ISSN 00218782. Dostupné z: doi:10.1111/j.1469-7580.2012.01491.x.

ZEHR, E.P., BARSS, T.S., DRAGERT, K., FRIGON, A., VASUDEVAN, E. V., HARIDAS, C., HUNDZA, S., KAUPP, C., KLARNER, T., KLIMSTRA, M., KOMIYAMA, T., LOADMAN, P. M., MEZZARANE, R. A., NAKAJIMA, T., PEARCEY, G. E., SUN, Y. 2016. Neuromechanical interactions between the limbs during human locomotion: an evolutionary perspective with translation to rehabilitation. *Experimental Brain Research* [online]. 234(11), 3059-3081 [cit. 2023-03-24]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: doi:10.1007/s00221-016-4715-4.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

- CKC closed kinetic chain, uzavřený kinematický řetězec
- CNS centrální nervová soustava, systém
- CPG central pattern generators, centrální generátory pohybu
- DNS dynamická neuromuskulární stabilizace
- GM general movements
- m. *musculus*
- OKC open kinetic chain, otevřený kinematický řetězec

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<b>Obrázek 1</b> Ilustrace kostry srovnání <i>Eusthenopteron</i> (A), <i>Acanthostega</i> (B) a <i>Ichthyostega</i> (C) .....	10
<b>Obrázek 2</b> Srovnání vzoru chůze koně a primáta, doplněno srovnání s dítětem .....	16
<b>Obrázek 3</b> Addukce končetin kojence během ontogeneze .....	24
<b>Obrázek 4</b> Typy lezení .....	26
<b>Obrázek 5</b> Patologická pozice .....	37
<b>Obrázek 6</b> Fyziologická pozice .....	37
<b>Obrázek 8</b> Patologická vyšší pozice .....	38
<b>Obrázek 7</b> Fyziologická vyšší pozice .....	38