

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra etologie a zájmových chovů**



**Fakulta agrobiologie,  
potravinových a přírodních zdrojů**

**Souvislosti nerovnoměrného zatěžování končetin,  
asymetrie pohybu a asymetrie kopyt a končetin u koní**

**Diplomová práce**

**Kristina Koudelová  
Chov hospodářských zvířat**

**Vedoucí práce: doc. Ing. Jitka Bartošová, Ph.D.  
Konzultant: Ing. Klára Ničová, Ph.D.**

© 2023 ČZU v Praze

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci „Souvislosti nerovnoměrného zatěžování končetin, asymetrie pohybu a asymetrie kopyt a končetin u koní“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 16. 4. 2023

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Ing. Jitce Bartošové, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky při psaní diplomové práce. Velké poděkování patří mistru podkováři panu Karlu Kysilkovi za spolupráci, zprostředkování přístroje Werkman Black a odbornou pomoc při měření dat. Musím poděkovat i Ing. Kláře Mikuláškové, Ph.D. za podporu a věcné rady. Dále bych ráda poděkovala Mgr. Ing. Anně Baštýřové Brutovské z Jihočeské univerzity za obětavou pomoc při sběru dat k diplomové práci. V neposlední řadě bych chtěla moc poděkovat Olze Raisové z Ranče Jablonná, Radce Krausové z jezdeckého klubu Míreč, Vlastě Havlové z osady Busíny a všem soukromým majitelům a majitelkám koní za vstřícnost a výpomoc při měření dat. Neskonale díky patří všem majitelům koní, kteří byli ochotni mi poskytnout svoje koně pro účely vypracování této diplomové práce.

# Souvislosti nerovnoměrného zatěžování končetin, asymetrie pohybu a asymetrie kopyt a končetin u koní

## Souhrn

Diplomová práce zkoumala příčinné souvislosti mezi asymetrií pohybu, nerovnoměrným zatěžováním končetin a asymetrií kopyt u koní. Celkem bylo hodnoceno 33 koní z 5 různých stájí. Použité metody zahrnovaly vyhodnocení preference postavení hrudních končetin (HK) při krmení, zhodnocení bilaterální asymetrie úhlů dorzální kopytní stěny u HK a analýzu délky kroku a rozložení váhy mezi HK u koní v pohybu na rovné linii.

Bylo zjištěno, že 48,5 % ze sledovaných 33 koní preferovalo při krmení stání snožmo a zbývajících 51,5 % raději stálo rozkročmo. Na populační úrovni se neobjevila významná preference pro zakračování levé (9) nebo pravé (8) HK. Za asymetrická byla dle literatury považována kopyta, u nichž byl rozdíl úhlů dorzální kopytní stěny větší než 1,5 stupně. Výsledky ukázaly, že u koní s větším úhlem kopyta pravé HK byla kopyta asymetričtější, zatímco u koní s větším úhlem kopyta levé HK byla asymetrie kopyt méně výrazná. Pokud se tupouhlejší kopyto vyskytovalo na levé HK, kladli koně pod tělo raději levou HK. V situaci, kdy bylo tupouhlejší kopyto na pravé HK, stáli koně buď snožmo, nebo dávali přednost zakročení pravé HK. Podíl váhy větší než 52,5 % neslo v pohybu na pravé HK 13 (56,5 %) z 23 koní, u nichž bylo možné použít kamaše Tendiboots. Na populační úrovni se objevila výrazná preference dělat delší krok levou HK (18 koní z 23). U délky kroku se nenašla žádná statisticky významná souvislost s ostatními sledovanými parametry. Pohybové chování koně nebylo přesným zrcadlovým obrazem, což komplikovalo testování hypotéz tak, jak byly původně stanoveny. S ohledem na výsledky je však možné konstatovat, že se „vrozená křivost u koní“ manifestuje různými způsoby, mezi kterými nemusí být zřejmá souvislost a téma si proto žádá pokračující studium na větším vzorku koní.

Závěry diplomové práce přinesly detailnější pohled na motorickou laterální u koní. Získané poznatky mohou přispět k prohloubení pochopení souvislostí motorické laterality s ohledem na včasnou detekci kompenzačních pohybových vzorců a indikátorů rozvoje patologických stavů. Praktické využití naleznou v rámci analýzy a následného sestavování optimálních tréninkových a rehabilitačních plánů s cílem zlepšení symetrie pohybu a rovnoměrnějšího zatěžování muskuloskeletálního aparátu.

**Klíčová slova:** kůň domácí, asymetrie pohybu, asymetrie končetin, asymetrie kopyt, motorická laterální

# Locomotion, limbs and hooves: Physical and locomotory asymmetries in horses

## Summary

This Master's thesis aimed to investigate the relationship between movement asymmetry, uneven loading of the limbs, and hoof asymmetry in horses. A total of 33 horses from 5 different yards were evaluated. The methods used included evaluation of the forelimb (FL) position preference during feeding, assessment of bilateral asymmetry of dorsal hoof wall angles in FL, and analysis of stride length and weight distribution between FL in horses moving in a straight line.

The results showed that 48,5 % of the observed horses preferred to stand with their forefeet close together during feeding from ground level, and the remaining 51,5 % preferred to stand with one limb placed more rearward under the body. At the population level, there was no significant preference for left (9) or right (8) FL. Based on the existing literature, hooves were considered asymmetric if the difference in the angles of the dorsal hoof wall was greater than 1,5 degrees. It was found that horses with a greater hoof angle of their right FL had more asymmetric hooves, while horses with a greater hoof angle of their left FL showed less asymmetric hooves. If the left FL was the one with the more upright hoof, the horse preferred to place its FL more rearwards under the body. If the right FL had the more upright hoof, horses either stood with their legs close together or they preferred to place their right FL rearward. In walk 13 (56,5 %) of the 23 horses evaluated with Tendiboots carried weight greater than 52,5 % on their right FL. At the population level, there was a significant preference to take a longer step with the left FL (18 horses out of 23). No statistically significant relationship was found between stride length and other observed parameters. The movement behavior of the horse was not the exact mirror image, complicating the testing of the hypotheses as originally stated. Considering the results, it is possible to conclude that the „Crooked Horse Syndrome“ manifests itself in different ways among which may not be an obvious connection, and the topic, therefore, requires further research on a larger sample of horses.

Research findings provide a more detailed insight into motor laterality in horses. Presented results can contribute to deepening the understanding of the context of motor laterality concerning the early detection of compensator movement patterns and indicators of the development of pathological conditions. Practical usage can be found in evaluating individual training plans and tailoring specific rehabilitation regimes to improve the symmetry of movement and protect the musculoskeletal apparatus.

**Keywords:** *Equus ferus caballus*, locomotory asymmetry, limb asymmetry, hoof asymmetry, motor laterality

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>8</b>
<b>2 Cíl práce</b> .....	<b>9</b>
<b>3 Literární rešerše</b> .....	<b>10</b>
<b>3.1 Syndrom křivého koně – teorie Kerryho Ridgwaye</b> .....	<b>10</b>
<b>3.2 Lateralita</b> .....	<b>11</b>
3.2.1 Problematika testování motorické laterality u koní .....	13
3.2.2 Otázka původu motorické laterality .....	15
3.2.3 Evoluční adaptace a životní styl jezdeckého koně.....	19
<b>3.3 Motorická lateralita a její dopady na tělo koně</b> .....	<b>20</b>
3.3.1 Kopyta koní .....	20
3.3.1.1 Anatomie vnitřní části kopyta.....	20
3.3.1.2 Anatomie kopytní stěny a dynamika rohového pouzdra.....	22
3.3.1.3 Motorická lateralita a nepravidelná kopyta .....	23
3.3.2 Motorická lateralita v pohybu koně .....	25
3.3.3 Motorická lateralita, pokles kohoutku a deviace zádě.....	27
3.3.3.1 Deviace zádě a tlakové síly u kopyt .....	28
3.3.4 Zdravotní dopady motorické laterality .....	30
<b>4 Metodika</b> .....	<b>32</b>
<b>4.1 Testovaná zvířata</b> .....	<b>32</b>
4.1.1 Aktivní stáj Mažice .....	33
4.1.2 Ranč Jablonná .....	33
4.1.3 Jezdecký klub Míreč.....	33
4.1.4 Starosedlský Hrádek .....	34
4.1.5 Jezdecké centrum Zduchovice .....	34
4.1.6 Osada Busíny.....	34
<b>4.2 Sběr dat</b> .....	<b>34</b>
4.2.1 Měření přístrojem Werkman Black .....	34
4.2.2 Měření úhlů dorzální kopytní stěny.....	36
4.2.3 Měření preference pozice hrudních končetin při krmení.....	37
4.2.4 Měření kamašemi Ekico Tendiboots.....	38
<b>4.3 Analýza dat</b> .....	<b>40</b>
4.3.1 Analýza měření úhlů kopyt .....	40
4.3.2 Analýza měření preference pozice hrudních končetin při krmení .....	40
4.3.3 Analýza měření pomocí kamaší Ekico Tendiboots.....	43
<b>5 Výsledky</b> .....	<b>45</b>
<b>5.1 Výsledky úhlů dorzální kopytní stěny</b> .....	<b>45</b>
<b>5.2 Výsledky preference pozice hrudních končetin při krmení</b> .....	<b>46</b>

<b>5.3</b>	<b>Výsledky dat z kamaší Ekico Tendiboots.....</b>	<b>47</b>
5.3.1	Rozdělení váhy mezi hrudními končetinami .....	47
5.3.2	Délka kroku .....	49
5.3.3	Doba trvání střední stojné fáze.....	50
5.3.4	Síla působící na hrudní končetiny v kroku.....	51
<b>5.4</b>	<b>Souvislosti sledovaných proměnných popisujících asymetrie kopyt, postoje a kroku</b>	<b>51</b>
5.4.1	Souvislosti preference postoje a podílu váhy mezi hrudními končetinami .....	52
5.4.2	Preference postoje a délky kroku .....	52
5.4.3	Podíl váhy v kroku a úhly kopyt.....	52
5.4.4	Délka kroku a úhly kopyt.....	52
5.4.5	Podíl váhy a délka kroku.....	52
<b>5.5</b>	<b>Výsledky z přístroje Werkman Black/Hoofbeat.....</b>	<b>53</b>
<b>6</b>	<b>Diskuze.....</b>	<b>56</b>
<b>6.1</b>	<b>Diskuze nad výsledky.....</b>	<b>56</b>
6.1.1	Pozice hrudních končetin při krmení .....	56
6.1.2	Úhly kopyt .....	57
6.1.3	Rozložení podílu váhy a délka kroku hrudních končetin.....	60
<b>6.2</b>	<b>Slabá místa v metodice.....</b>	<b>62</b>
6.2.1	Měření úhlu dorzální kopytní stěny .....	62
6.2.2	Měření kamašemi Ekico Tendiboots .....	63
6.2.3	Měření preference postavení hrudních končetin při krmení.....	63
<b>7</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>66</b>
<b>8</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>67</b>
<b>9</b>	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů.....</b>	<b>82</b>
<b>10</b>	<b>Samostatné přílohy .....</b>	<b>I</b>
10.1	Příloha I - Kompletní zpráva z přístroje Werkman Black/Hoofbeat .....	I

# 1 Úvod

Odborná literatura uvádí, že koně preferenčně zatěžují jednu hrudní končetinu. Tato preference je často spojována s motorickou lateralitou, kterou jezdecká literatura popisuje jako „vrozenou křivost“, ochotu koně se snadněji podélně ohýbat na jednu ze stran nebo ochotněji naskočit do cvalu vlevo či vpravo. Během ontogeneze a jezdeckého využívání koní jsou tyto asymetrie často prohlubovány. Výraznějším zatěžováním určité končetiny pak dochází nejen ke změnám v biomechanice pohybu, které např. v drezurních soutěžích snižují výsledné hodnocení sportovní dvojice, ale zejména k nerovnoměrnému opotřebovávání končetin a částí těla, což vede ke zdravotním potížím a omezenému využití koně k danému účelu. Rozdílné mechanické zatížení jednotlivých končetin je spojováno i s asymetrickým tvarem kopytního pouzdra.

Negativní dopady tělesné nerovnováhy se odrážejí také na mentální pohodě a welfare zvířat. Nepochopení vrozené křivosti vede v tréninku mnohdy k chybné interpretaci chování koně a je někdy označováno za neposlušnost a „nedostatek respektu“.

Existuje jen tenká hranice mezi nepravidelností v chodu koně vlivem motorické lateralit a kulháním důsledkem patologických procesů. Pochopení vzájemných souvislostí je klíčové pro výběr nejvhodnějších cviků a sestavení optimálního rehabilitačně tréninkového plánu s ohledem na individuální potřeby koňského atleta. Abychom tak mohli učinit, je nejprve potřeba do hloubky porozumět komplexním souvislostem motorické lateralit a jejich důsledků na biomechaniku pohybu a spráženou tělesnou asymetrii.

Život jezdeckého koně klade na tělo zvířete zcela jiné nároky, než je tomu u jeho volně žijících příbuzných. Domácí koně mají méně pohybu a jsou nárazově vystaveni neobvyklé zátěži. Motorická lateralita proto není něco, co by se mělo přehlížet s myšlenkou přirozenosti.

Vědecké články zatím nedokázaly uspokojivě odpovědět na veškerá tvrzení uvedená v odborné hippologické literatuře. Jednotliví autoři se v závěrech svých pozorování neshodují. Interpretace dějů a souvislostí jsou založeny spíše na osobních zkušenostech a pozorováních význačných trenérů než na prověřených vědeckých poznatcích. Problematiku navíc ztěžuje nejednotnost terminologie a absence jednotné metodiky pro určení motorické lateralit koně.

Cílem diplomové práce tak je otestovat některá tvrzení, která postuloval Kerry Ridgway v rámci teorie „syndromu křivého koně“. Získané poznatky zprostředkují lepší pochopení mechanismů, kterými se motorická lateralita u koně manifestuje. Napomůže zlepšení tréninkových metod s ohledem na nastolení zdravějších pohybových vzorců za současného zachování mentální pohody koně, díky eliminaci špatné interpretace projevu vrozené křivosti coby „vzdoru a neposlušnosti“. Z praktického i ekonomického hlediska je výhodné dopady motorické lateralit minimalizovat ve prospěch potenciálně nižších nákladů za veterinární a fyzioterapeutická ošetření do budoucna.



## 2 Cíl práce

Cílem diplomové práce bylo otestovat vybrané souvislosti nerovnoměrného zatěžování končetin, pohybových vzorců a stavu kopyt u koní před základním výcvikem se záměrem lepšího pochopení strategií, které koně využívají v „boji“ s vrozenou křivostí. Diplomová práce si kladla za úkol vědecky ověřit, nebo vyvrátit, alespoň některé části teorie, kterou postuloval Dr. Kerry Ridgway (KRT) na základě svých dlouholetých zkušeností a praxe.

Vzhledem k hloubce a komplexitě, s jakou Dr. Kerry Ridgway teorii vrozené křivosti u koní vypracoval, se práce omezila pouze na několik vybraných hypotéz.

- Hrudní končetina, která v pohybu nese více váhy, je v zastavení zakročena pod tělem (H1), dělá na rovné linii kratší krok než druhá hrudní končetina (H2), a k ní ipsilaterální pánevní končetina dělá na rovné linii kratší krok než kontralaterální končetina pánevní (H3).
- Ipsilaterální pánevní končetina došlapuje laterálně vůči hrudní končetině, která nese více váhy (H4a). Alternativní hypotéza praví, že kontralaterální pánevní končetina (k hrudní končetině, která nese více váhy) došlapuje laterálně vůči své ipsilaterální hrudní končetině (H4b).
- Pokud se hrudní končetina, která nese více váhy, nachází na vnitřní straně kruhu, kůň má tendenci kruh zmenšovat (H5).
- Pokud se hrudní končetina, která nese více váhy, nachází na vnější straně kruhu, kůň má tendenci kruh zvětšovat (H6).
- Kopyto hrudní končetiny, která nese více váhy, je tupoúhlejší než kopyto druhé hrudní končetiny (H7).

Původně plánovaný sběr dat měl probíhat na koních ve věku 2–3 let před obsedáním, bez předchozího systematického výcviku, bez známek kulhání a historie vážného úrazu. Od tohoto požadavku bylo nutné ustoupit, neboť nízký věk koní a s ním spojená žádaná nezkušenost neumožňovala bezpečné, jednoznačně průkazné a opakovatelné testování jednotlivých hypotéz. Měření proto probíhalo na koních bez omezení věku a předešlé historie. Předpoklad byl, že si vrozené tendence jedinec uchovává i do pozdějšího věku.

V rámci diplomové práce byly řešeny hypotézy H1, H2, a H7. Data k hypotézám H3, H5, H6, H4a a alternativní hypotéze H4b se z důvodu absence vhodné měřicí techniky, která by umožňovala sběr spolehlivých a validních dat, nepodařilo získat (dostupné snímače vykázaly odlišnosti v praktickém využití a manipulaci oproti informacím od výrobce). Naopak byla sbírána data např. pro opakovaná měření testů preference postoje hrudních končetin v zastavení.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Syndrom křivého koně – teorie Kerryho Ridgwaye

Významnou osobou, kterou se zabývala otázkou takzvaného syndromu křivého koně (Crooked Horse Syndrome), byl veterinární lékař Kerry Ridgway. Během své praxe si všiml vzorců, které se objevovaly u všech koní bez ohledu na jezdeckou disciplínu. Vídal je u koní skokových, drezurních, nebo koní, kteří se věnovali pólu, dostihům, či jen tak jezdili se svými majiteli na vyjížďky po okolí. Jediný rozdíl byl v tom, že tyto specifické vzorce svalového a fasciálního napětí a přetížení nacházel asi u 75 - 80 % koní na jedné straně, zatímco u zbývajících přibližně 20 - 25 % diagnostikoval tyto nálezy jako zrcadlový obraz na straně druhé. Hledal proto společného jmenovatele a začal se věnovat konceptu motorické laterality a syndromu „přirozené křivosti“ u koní (Ridgway, 2015; 2017a; 2017b).

Kerry Ridgway rozdělval koně na dominantní na pravou nebo levou hrudní končetinu. Mluvil o funkční dominanci, kterou připodobňoval ke konceptu leváctví a praváctví u lidí. Uvědomoval si odlišnosti v lidské a koňské anatomii a zdůrazňoval, že koně používají svoji dominantní hrudní končetinu jako hlavní opornou končetinu, vzpěru, kolem které se tělo otáčí. Tato končetina dle jeho teorie nese více váhy a umožňuje tak snadnější a volnější pohyb kontralaterální (protilehlé) hrudní končetiny. Pro koně, který by byl dominantní na pravou hrudní končetinu by tak byl snadnější pohyb na levou ruku a naskakování do cvalu vlevo. Protože dominantní hrudní končetina nese více váhy, bude dělat, někdy sotva neznatelně, kratší krok. Při pohybu na kruhu na pravou ruku bude mít takový kůň tendenci kruh zmenšovat, nebo dokonce pohyb na tuto ruku odmítat, bude hůře ohebný a méně poddajný, cval vpravo bude problematictější. Nerovnoměrné zatížení hrudních končetin se projeví na celkové biomechanice pohybu, ovlivní zakřivení páteře a rotaci hrudníku i pánve. Povede ke změně délky kroku pánevních končetin a místa, kam budou kopyta pánevních končetin došlapovat vůči stopě kopyt hrudních končetin (Ridgway, 2015; 2017a; 2017b).

Rozdílné zatížení a délka kroku u hrudních končetin bude mít za následek deformaci kopytního pouzdra, která povede k nepravidelnému tvaru kopyt. Zkrácení kroku u dominantní končetiny, která dle teorie Kerryho Ridgwaye nese více váhy, bude mít za následek posun těžiště kopyta směrem vpřed. Jako následek dojde k menšímu zatížení patek při došlapu, jejich menšímu opotřebenění a konsekventně vyšší výšce. Kopyto bude mít tendenci být více tupouhlé. Naopak končetina, která nese méně váhy a dělá delší krok, bude mít těžiště kopyta posunutě více dozadu směrem k patkám. Rozdílná biomechanika došlapu povede kopyto k většímu zatížení patek, což povede k jejich nižší výšce a snadnějšímu podsouvání. Kopyto bude mít tendenci být více ostroúhlé (Ridgway, 2015; 2017a; 2017b).

Dle KRT bude mít kůň při pasení tendenci nechávat končetinu, která nese více váhy, více pod tělem a méně zatíženou končetinu bude chtít klást spíše před sebe. Kerry Ridgway zdůrazňoval fakt, že tvar samotného kopytního pouzdra je nejméně spolehlivým indikátorem stranové dominance, protože trauma a bolestivost může ovlivnit způsob, jakým kůň klade končetiny na zem a nemusí tak odrážet motorickou laterality jedince. Dle jeho osobních pozorování bylo přibližně 75 - 80 % koní dominantních na pravou hrudní končetinu (nesli na této končetině více váhy) a častěji zde také pozoroval tupouhřejší kopyto (Ridgway, 2015; 2017a; 2017b).

Tento souhrn nepřekládá teorii Kerryho Ridgwaye v celé své komplexnosti. Omezuje se na tvrzení, která budou v rámci této diplomové práce řešena. Pro potřeby diplomové práce bude s ohledem na jasnější vymezení vzájemných vztahů v praktické části práce používán výraz „končetina, která nese více váhy“ jako substitute pro termín dominantní hrudní končetina. V rámci rešerše se bude autorka držet zažitého termínu „preferovaná“ končetina.

## 3.2 Lateralita

Otázkou laterality se v posledních letech zabýval bezpočet studií širokého spektra zaměření, od evoluční a vývojové biologie po neurofyziologii, či behaviorální biologii (Clayton et al., 2017; Corballis, 2009; Ghirlanda et al., 2009; Rogers, 2009, 2017; Vallortigara, 2006).

Dodnes zůstává palčivou otázkou, co stálo za zrodem laterality a kam až sahají její kořeny. Jedny z nejstarších důkazů behaviorální asymetrie reprezentují fosilní nálezy u trilobitů, které dokumentují jizvy po útoku predátorů. Tyto predáční jizvy se u 70 % jedinců nacházely na pravé straně těla, u 23 % na levé a u 3 % na obou polovinách (Babcock, 1993). Babcock spekuluje, že by z výsledků bylo možné vyvozovat, že někteří predátoři trilobitů napadali svou kořist převážně z pravé strany, alternativně sami trilobité preferovali útkové chování na jednu stranu. Z těchto zjištění lze usuzovat na existenci lateralizace nervového systému už v období časného Kambria, tedy v době před více než 500 miliony let (Babcock, 1993; Babcock & Robison, 1989).

Lateralita ve smyslu preferenčního používání jedné z hrudních končetin (rukovost) byla původně považována za unikátní rys evoluce člověka a je dávana do souvislosti s rozvojem komplexních pohybů spojených s manipulací, výrobou a využíváním rozličných nástrojů (Uomini, 2009). Prehistorické kamenné artefakty dokazují vyšší zastoupení praváků v populaci už před 1,4 – 1,9 mil let (Toth, 1985). Tato preference je asociována se specializací mozkových hemisfér (Vallortigara & Rogers, 2005). První vědecká práce, která zmiňuje funkční lateralizaci mozkových hemisfér, se datuje už do poloviny 19. století. Jedná se slavný objev Broca z roku 1861, který si povšiml rozdílů v anatomické stavbě pravé a levé mozkové hemisféry u člověka (Broca, 1861).

Lateralita se manifestuje různými způsoby. Projevuje se jako preferenční a nenáhodné používání jedné strany těla, potažmo párových orgánů pohybu a smyslového vnímání. Tato preference je interpretována jako odraz asymetrie mozkových hemisfér a funkce nervového systému. V obecné rovině můžeme lateralitu dělit na funkční a strukturní asymetrii mozkových hemisfér, sensorickou lateralitu, motorickou lateralitu a tělesnou asymetrii. Tělesná asymetrie sleduje odchylky na úrovni uspořádání těla. Odráží asymetrickou strukturu a uložení vnitřních orgánů, orgánových soustav a rozdílů ve tvaru, velikosti a pozici párových orgánů a těla jako celku (například rozdílné osvalení, nebo délka končetin, pozice očí) (Rogers, 2009; 2002; Vallortigara & Rogers, 2005).

Dnes víme, že lateralita a její projevy v oblasti motorické, smyslové i na úrovni tělesné a strukturní asymetrie nejsou výhradní doménou *Homo sapiens* a je možné je sledovat u celé řady obratlovců i bezobratlých živočichů (Vallortigara & Rogers, 2005). Jedná se o rozšířený jev, který byl na populační úrovni, nebo úrovni jednotlivce pozorován u ryb (Bisazza et al., 1997b, 2000; Hori et al., 2017), plazů (Hews et al., 2004; Hosoi et al., 2007; Roth, 2003), obojživelníků (Bisazza et al., 1997a; Robbins et al., 1998), ptáků (Casey, 2005; Ventolini et al., 2005; Yu et

al., 2020), mnoha druhů savců (Anderson & Murray, 2013; Austin & Rogers, 2014; Casperd & Dunbar, 1996; Jacobs & Oosthuizen, 2021; Pike & Maitland, 1997; Wells, 2003) i řady bezobratlých živočichů (Ades & Ramires, 2002; Byrne et al., 2004; Frasnelli et al., 2012).

Jak ukazují četné studie, jednotlivé typy laterality spolu nemusejí souviset (Kuhnke & König von Borstel, 2022; McGreevy & Rogers, 2005; Murphy et al., 2005). Například studie Kuhnke et al. (2022) ukázala absenci shody mezi senzoricou a motorickou lateralitou u koní. Konkrétně sledovali, kterým okem se kůň jako první podívá na nový předmět (plastový sáček, míč, hračka) v případě, že s ním člověk ke koni přistoupí přímo zepředu. Vedle testování preference oka provedli i několik testů zaměřených na motorickou preferenci jedince v podobě postavení hrudních končetin při pasení. Mezi výsledky pozorování nenašli shodu. Závěry této a dalších studií naznačují, že v případě senzoricé a motorické laterality u koní nejspíše dochází k lateralizaci mozku nejméně na dvou úrovních neurální organizace (McGreevy & Thomson, 2006).

Vědecké výzkumy, které se zabývaly projevy laterality u koní v různorodých situacích, demonstrují, o jak komplexní problematiku se jedná. Při procházení jednotlivých prací nacházíme pojítka s emocionalitou (Larose et al., 2006), osobností, mírou stresu (Marr et al., 2020; Siniscalchi et al., 2014), plemenem (Larose et al., 2006; McGreevy & Thomson, 2006), pohlavím (Murphy et al., 2005; Murphy & Arkins, 2008; Murphy & Arkins, 2012), věkem (Austin & Rogers, 2012; Lucidi et al., 2013; McGreevy & Rogers, 2005), a nepřekvapivě i vlivem člověka a výcviku (McGreevy & Thomson, 2006; Sankey et al., 2011).

Především u senzoricé laterality, která sleduje preferenční používání jednoho ze smyslových orgánů, hraje roli i směr, ze kterého nový podnět přichází, a odráží se v asymetrické (motorické) reakci ze strany koně (Austin & Rogers, 2007). Tento jev je spojován s funkční asymetrií mozkových hemisfér, která se projevuje jako specializace na určité aktivity a projevy. Z evolučního hlediska umožňuje mimo jiné zvýšení neurální kapacity mozku (Corballis, 2009), eliminaci zbytečných duplikací (Levy, 1977), paralelně vykonávat samostatné úkony (Rogers, 2000) a kratší reakční časy (Ringo et al., 1994). Velice zjednodušeně bývá levá hemisféra u savců spojována s rutinními činnostmi, nestresovými situacemi nebo učením, zatímco pravá hemisféra je spíše používána v rámci rychlé reakce na nečekané a ohrožující situace, při sociálních interakcích, expresi agrese a strachu (Austin & Rogers, 2014; Byström et al., 2020; Rogers, 2010). Pro volně žijící koně je „dělbá práce“ mezi hemisférami výhodná, protože jim umožňuje zároveň věnovat pozornost okolí a rychle reagovat na možné nebezpečí a blížícího se predátora a současně se věnovat rutinním aktivitám typu hledání potravy a pasení (Austin & Rogers, 2012, 2014).

Přestože je možné laterality sledovat na několika úrovních, nelze mezi nimi vést jasnou hranici. Jednotlivé typy jsou mezi sebou více, či méně provázané a dohromady tvoří komplexní celek. Finální projev je zřejmě do různé míry ovlivněn také řadou externích i interních proměnných. To vše výrazně znesnadňuje studium a interpretaci laterality, protože není možné studovat jeden typ laterality za současného plného vyloučení těch zbývajících. Předkládaný úvod si neklade za cíl podat vyčerpávající výklad o soudobých znalostech fenoménu laterality v plném rozsahu a hloubce. Snahou je spíše nastínit složitost a provázanost problematiky a upozornit čtenáře, že stále existují neprobádané oblasti tématu a pochopení vzájemných souvislostí zatím nemůže být považováno za úplné (Rogers, 2009; 2002; Vallortigara & Rogers, 2005).

Diplomová práce se dále podrobněji zaměřuje jen na motorickou lateralitu a její projevy u koní.

### 3.2.1 Problematika testování motorické laterality u koní

Motorická lateralita je popisována jako předností a nenáhodné používání párového orgánu souvisejícího s pohybem celého těla nebo jeho části, preference rotace v určitém směru u rotačních pohybů, případně preference určité strany v chování (zatažení, otáčení, obcházení překážky) (Macneilage, 2013; Murphy et al., 2005).

Problematiku studia u koní ztěžuje absence jednotné metodiky pro určení motorické laterality koně. Autoři volí různé postupy a kritéria hodnocení. Neexistuje jednotný validovaný protokol pro její detekci, ani nejsou stanoveny kritéria definující, která strana je dominantní (Williams, 2011). V literatuře nalezneme hodnocení na základě pozorování, kterou končetinu kůň natahuje před sebe během pasení (McGreevy & Rogers, 2005; McGreevy & Thomson, 2006; Austin & Rogers, 2012; Esch et al., 2019; van Heel et al., 2006; Wells & Blache, 2008), pohybové aktivity jednotlivých hrudních končetin během pasení a pobytu na pastvě (Warren-Smith & McGreevy, 2010), nebo častějšího pokrčování jedné z pánevních končetin při stání (McGreevy & Rogers, 2005; McGreevy & Thomson, 2006). Další studie sledovaly, kterou hrudní končetinou kůň iniciuje pohyb vpřed (Marr et al., 2018; Murphy et al., 2005; Siniscalchi et al., 2014), preferenční volbu končetiny při hrabání (McGreevy & Rogers, 2005), upřednostňování strany ve válení (Murphy & Arkins, 2012), nebo stranovou deviaci zádě (Kuhnke & König von Borstel, 2022). Jiné zaznamenávaly stranu, kterou si raději drbají (McGreevy & Rogers, 2005), volbu směru při obcházení překážky, ať už s jezdcem nebo bez (Murphy et al., 2005), případně ji posuzovaly na základě ztráty linie a zkracování směrem dovnitř kruhu při pohybu v kruhové ohradě (Lucidi et al., 2013). Preference vedoucí končetiny ve cvalu v dostizích (Williams & Norris, 2007; Deuel & Lawrence, 1987), nebo volba končetiny, kterou jako první překročí bariéru na zemi (Schwarz et al., 2022) představují další používané metodiky. Zcela logicky se některé výzkumy změřily na interpretaci motorické laterality koně na základě hodnocení ze strany jezdce (Murphy & Arkins, 2008; Randle & Elworthy, 2006) nebo známek rozhodčího za jednotlivé cviky prováděné na pravou i levou ruku ze soutěží (Whishaw, 2015; Whishaw & Kolb, 2017).

Závěry rozsáhlé studie Kuhnke (2022) odhalují, že se lateralita u koně projevuje různými způsoby, mezi kterými všeobecně nemusí existovat souvislost. Studie sledovala například souvislosti motorické laterality koně na základě preferenčního postavení hrudních končetin při krmení a pasení s hodnocením jezdce, ale nenašla významnou shodu. Naopak hodnocení jezdce bylo významně v souladu se stranovou deviací zádě (vychýlení zádě do strany). Jezdec vnímal koně jako pohybově zdatnějšího při pohybu ve směru, do kterého uhýbala zád'. Stranová deviace zádě byla hodnocena vůči pozici hrudních končetin. U deviace doprava byla mezi pánevními končetinami vidět pravá hrudní končetina, u deviace zádě doleva levá hrudní končetina. Koně, kteří stáli do pravidelného obdélníku se ve vzorku koní v rámci studie nevyskytovali. 73,1 % koní vykazovalo deviaci zádě doprava, zbývajících 26,9 % doleva. Jezdci hodnotili 66,7 % koní jako jezdecky lepší při pohybu na pravou ruku a u 33,3 % při práci na levou ruku. Výsledky spolu ve velké míře souhlasily, avšak u několika málo hodnocení byly výsledky smíšené (Kuhnke & König von Borstel, 2022).

Wells a Blache (2008) nenašli žádnou spojitost mezi končetinou, kterou kůň přednostně klade při pasení před sebe a končetinou, kterou preferenčně vede ve cvalu na kruhu na lonži. Pokud se podíváme do literatury zkoumající provázanost motorické laterality u lidí, brzy dojdeme k závěru, že je extrémně důležité vybrat vhodný test s ohledem na téma studie. U lidí, stejně jakou koní, je možné hodnotit motorickou preferenci velkou řadou testů, které hodnotí různé schopnosti, i rozdílné charakteristiky motorického projevu. Výsledek jednoho úkolu nemusí být reprezentativní, navíc se testy liší svou komplexitou. Pohyb kloubů hrudních končetin vykazuje u lidí vyšší míru lateralizace v porovnání s klouby pánevních končetin a pravděpodobně souvisí s rozdílnou funkční specializací (Kapreli et al., 2006). Přibližně u 90 % lidí je jasná preference pravé hrudní končetiny, zatímco studie na pánevních končetinách potvrzují slabší sílu preference k výběru a používání (mobilizaci) jedné z pánevních končetin při různých úkolech. Zdá se, že roli hraje i to, jestli úkol vyžaduje požití jedné, nebo obou pánevních končetin zároveň (van Melick et al., 2017). Navíc si mobilizace pánevních končetin žádá zvýšenou aktivaci specifických oblastí mozku ve srovnání s hrudními končetinami (Kapreli et al., 2007; Luft et al., 2002). Koně jsou na rozdíl od bipedního člověka kvadrupedi, kteří nemají ruce a svoje tělo používají jiným způsobem. Na druhou stranu jsou motorické studie na lidech nejpočetnější a nabízejí cenné body k zamyšlení při studiu koní.

V rámci výzkumu na koních, který zahrnuje i jezdce, není prakticky možné zcela vyloučit vliv motorické laterality člověka (pravák/levák). Obzvláště v případech, kdy bylo například hodnoceno rozdílné napětí na otěžích (Kuhnke & König von Borstel, 2022). Recentní studie potvrdila, že se motorická laterality u koně signifikantně zvyšuje, nemění však směr, pokud kůň nese na hřbetu jezdce (Schwarz et al., 2022). Jezdec ve zmiňované studii figuroval pouze jako „pasivní závaží“. Tato tendence byla zachycena již ve studii od Murphy et al. (2005), kde si všimli, že došlo k zesílení preference (bez změny směru) u klisen po přidání jezdce na hřbet. Zatím není jisté, zda za tím stojí váha jezdce, která zesílí motorickou preferenci, nebo jsou ve hře další faktory. Jistě nás v tomto ohledu čekají do budoucna další zajímavé studie.

Většina zmíněných studií nenašla významný populační trend, přestože byly na individuální úrovni zaznamenány významné preference. Přehledová studie z pera Leliveld (2019), která se zabývala všemi aspekty laterality u hospodářských zvířat se zaměřením na kopytníky, prošla 57 studií k tématu orientovaných na koně. Dochází ke stejnému závěru jako Kuhnke & König von Borstel (2022). U koní se, na rozdíl od lidí a dalších živočichů z čeledi hominidů, neukazuje výrazná behaviorální lateralizace na populační úrovni. V závislosti na předloženém úkolu se nicméně projevovaly individuální preference (Kuhnke & König von Borstel, 2022).

Přestože si výsledky některých studií protirečí, předkládají věrohodná vysvětlení pro své rozdílné výsledky. Austin & Rodgers (2014) polemizují, že může být preference jedné z hrudních končetin u koní na populační úrovni spojena s domestikací a tréninkem. U volně žijících koní se preference končetiny na populační úrovni neukazuje (Austin & Rodgers, 2012; 2014), zatímco u domestikovaných koní byly v některých studiích případy motorické laterality na populační úrovni potvrzeny (McGreevy & Rogers, 2005; McGreevy & Thomson, 2006). Řízená selekce koní pro určitý typ práce by mohla vést ke zvýšení asymetrie v pohybové preferenci (McGreevy & Thomson, 2006), kterou by mohl dále zesilovat trénink (McGreevy & Rogers, 2005) a typ práce, kterou kůň vykonává (McGreevy & Thomson, 2006).

Není překvapením, že se počáteční studium laterality zaměřovalo na člověka. I další prvotní studie často sledovaly projevy stranové preference na zvířatech, která mají schopnost používat svoje hrudní končetiny k uchopování předmětů (Macneilage et al., 1987; Waters & Denenberg, 1994). Koně se živí pasením a končetiny používají ke stání a přesunu od jednoho trsu trávy k druhému, nebo k pohybu krajinou. Nejsou při tom přímo závislí na jedné hrudní nebo pánevní končetině. Hrudní končetiny fungují spíše jako dva pilíře, mezi kterými je svěšena hlava s krkem. Kůň kráčí při pasení krokem, hrudní končetiny při pohybu pravidelně střídá, pánevní končetiny následují (Usherwood & Smith, 2018). Colborne et al. (2009) si povšimli rozdílné biomechaniky pohybu hrudních končetin u koní, kteří kráčeli po rovné linii přes silové plošiny. U 7 z 9 koní výsledky měření ukázaly, že koně nejspíše používali pravou hrudní končetinu více jako pasivní vzpěru, přes kterou se tělo v pohybu převaluje vpřed (Colborne et al., 2009).

Sledování, kterou končetinu kůň klade při pasení před sebe, je často používanou metodou pro určení motorického laterality u koní. Není však úplně jasné, jakou charakteristiku motorické laterality popisuje (Wells & Blache, 2008). Neexistuje jednotná shoda ohledně interpretace funkce jednotlivých končetin. Jedna úvaha nabízí vysvětlení, že předkročená hrudní končetina označuje stranu těla s lepšími pohybovými schopnostmi (McGreevy et al., 2007). Jako protiargument stojí teorie, která popisuje nepředkročenou končetinu jako tu, která je z pohledu boje o přežití důležitější, protože nese více váhy, což ukazuje i na její větší zdatnost. Navíc je pravděpodobně v lepší pozici pro zahájení útěku před predátorem (McGreevy et al., 2007). Wells (2008) uzavírá svoji studii slovy, že není zcela jasné, která hrudní končetina nese při rozkročeném postoji během pasení více váhy. Polemizuje, že označení předkročené nohy za preferovanou končetinu může být chybné. Jako důvod uvádí, že by jí mohla být ta, která nese více váhy a je proto silnější a tím pádem i preferovanější. Nedá se říct, že by překročená končetina nesla více váhy a bylo by proto vhodné tuto otázku do budoucna otestovat, ověřit a provést další studie, které by přesné mechanismy objasnily (Wells & Blache, 2008).

### **3.2.2 Otázka původu motorické laterality**

Co rozhoduje o tom, jakou bude mít jedinec motorickou preferenci? Otázka, na kterou zatím neznáme uspokojivou odpověď. Mezi jezdeckou veřejností se traduje několik teorií. Některé z nich se dají, alespoň částečně, podložit vědeckými studiemi. Jiné na své potvrzení, nebo vyvrácení, stále čekají. Genetika, poloha plodu v děloze, vývoj fasciální sítě, trauma při průchodu porodními cestami, hladina prenatalních hormonů a zdravotní stav matky, vliv matky po porodu, přirozená a umělá selekce, prostředí a působení člověka představují krátký výčet možných faktorů, které mohou mít na výslednou stranovou preferenci koně vliv (Ashton, 1982; Beking et al., 2018; Esch et al., 2019; Komárková & Bartošová, 2013; Schmitz et al., 2017; Stroud et al., 2016).

Nad otázkou ontogenetického vývoje motorické laterality se již zamýšlelo několik studií (Hepper et al., 1998; Stroud et al., 2016). Jen hrstka se jich zaměřovala na koně, proto nezbyvá než hledat paralely s ostatními živočichy včetně člověka. Stále není zcela jasné z čeho přesně vychází a má se za to, že se na ní větší či menší mírou podílí několik různých faktorů.

U člověka se motorická lateralita zakládá nejspíše již brzy v rané fázi ontogeneze organismu. Během prenatalního vývoje byly u více než 80 % lidských plodů pozorovány

podstatně častější pohyby pravou hrudní končetinou. Přítomnost lateralizovaného motorického chování v průběhu časného těhotenství (studie probíhaly v 10. týdnu těhotenství a v období mezi 12. – 27. týdnem) naznačuje, že by mohlo být pod svalovou a spinální kontrolou, spíše než pod kortikální a poukazuje to na genetický základ laterality (Hepper et al., 1998; McCartney & Hepper, 1999). Hepper et al. (1998) rozvíjí myšlenku, že by přítomnost laterality v pohybovém chování v časném těhotenství mohla hrát roli v příčinách budoucí pohybové laterality a asymetrického vývoje mozku.

Lateralizované pohybové chování, které bylo pozorované v uteru, by mohlo přetrvávat i po narození. Novorozenci, u kterých bylo v průběhu těhotenství pozorované sání palce, měli tendenci po narození otáčet hlavu ke straně ruky, u které preferenčně sáli palec (Hepper et al., 1991). Většina z nich si tuto motorickou preferenci (praváctví/leváctví) zachovala i do pozdějšího věku (Hepper et al., 2005). U koní zatím nebyly obdobné studie uskutečněny.

Studium vlivu genetiky na motorickou lateralitu zatím nedošlo k uspokojivým závěrům. Odhaduje se, že se na ontogenezi hemisférické asymetrie u člověka podílí minimálně 40, ale potenciálně více, interagujících genů (Schmitz et al., 2017). Starší studie z roku 1982 došla k závěru, že samotná genetická podstata, která rozhoduje o tom, zda bude jedinec pravák nebo levák, představuje přibližně 10 – 20 % celkového vlivu. Zbývajících 80 – 90 % je připisováno environmentálním vlivům (Ashton, 1982). Mariana Annett navrhla v roce 1972 „right shift theory“ (teorie posunu doprava), model jediného hypotetického genu se dvěma alelami, ve kterém alela RS+ u jedince zvyšuje pravděpodobnost, že bude jedinec pravák. Druhá alela RS– neinicuje žádný směrový posun v lateralitě. Jedinec s alelami RS– může být pravák, levák nebo jedinec bez stranové preference (Annett, 2002). Druhou známou teorií představil McManus (Corballis, 2009; McManus, 1991). Opět se jedná o teorii jednoho genu se dvěma alelami, kde alela D určuje směrovou preferenci a alela C náhodný směr. Model se liší v tom, že jedinec s alelami DD bude vždy pravák, u alelické kombinace DC bude 75 % jedinců pravorukých a 25 % levorukých a u kombinace alel CC je rovnoměrná šance, že bude jedinec preferovat pravou nebo levou ruku (Corballis, 2009). V současné době je všeobecně přijímanou teorií, že se na stranové preferenci podílí velké množství vzájemně interagujících genů a negenetických faktorů. Při hledání potenciálních genů se v posledních letech často volí forma celogenomových asociačních studií (Ocklenburg et al., 2022). Na studie uskutečněné přímo na koních se zatím stále čeká.

Některé teorie mluví o možnosti vlivu zvýšené hladiny testosteronu. Výsledky stávajících studií u lidí, ostatních savců a ptáků tyto domněnky zatím nedokázaly přesvědčivě podpořit (Pfannkuche et al., 2009).

Z pohledu „vrozené křivosti“ by mohla být stranová deviace zádě (Kuhnke & König von Borstel, 2022; Lucidi et al., 2013) brána jako asymetrie tělesná. Byla zaznamenána už u hříbat a mladých koní (Lucidi et al., 2013). Zdá se, že by mohla být přítomna už před narozením a vznikat během embryonálního vývoje v uteru. Kerry Ridgway ve svých přednáškách zmiňoval možný vliv vývoje fasciální sítě, nebo polohy plodu v těle matky (Ridgway, 2017a). Nabízí se otázka, zda se motorická lateralita nemůže zakládat už v časných fázích embryogeneze spolu s vývojem asymetrie tělesné. U řady živočišných druhů zajišťuje iniciaci tělesné asymetrie činnost cytoskeletu brzy po oplození (Beking et al., 2018). Zajímavé spojení našli ve své studii Murphy & Arkins (2008). Objevili souvislost mezi směrem, kterým se stáčí chlupové víry na čele koně a směrem jeho motorické lateralitě (Murphy & Arkins, 2008; 2012).



U strany, na kterou padá hřívá, souvislost potvrzena nebyla (Whishaw & Kolb, 2017). Chlupové víry, které se stáčely po směru hodinových ručiček, měli častěji koně šikovnější na pravou ruku. Naopak uspořádání srsti proti směru hodinových ručiček bylo čtenější u koní označených za pohybově nadanější na levou ruku. Manifestace osrstění jde pravděpodobně ruku v ruce s počátečním vývojem mozku během prenatalního vývoje (Murphy & Arkins, 2008) a má nejspíše stejný základ jako motorická lateralita (Klar, 2003). Shivley (2016) cituje práci kolegů Murphy & Arkins z roku 2005 a zmiňuje, že hříbata s uspořádáním chlupových vírů po směru hodinových ručiček, přicházejí na svět jako první pravou hrudní končetinou (Shivley et al., 2016). Murphy a Arkins se tímto tématem znovu zabývali ve studii z roku 2012, kdy si všimli souvislosti mezi hrudní končetinou, která se objeví jako první při porodu, směrem chlupových vírů a pohlavím hříběte. Hřebečci přicházeli na svět významně častěji jako první levou hrudní končetinou a srst na čele se jim stáčela častěji proti směru hodinových ručiček, zatímco klisničky se rodily pravou končetinou napřed a chlupové víry měly uspořádané spíše po směru hodinových ručiček (Murphy & Arkins, 2012). Výsledky pozorování napovídají, že by se motorická lateralita mohla podobně jako u lidí zakládat už v děloze matky. K tomuto závěru přispívají i výsledky předběžné studie prezentované na 3. Mezinárodním veterinárním kongresu v roce 2016. Axiální rotace pánve byla u hříbat přítomna už při narození a tato asymetrie se během prvních 9 týdnů života nezměnila (Stroud et al., 2016).

Humánní studie popisují průběh porodu jako možný faktor, který se spolupodílí na rozvoji motorické laterality po narození. Zmiňují stres matky, trauma při průchodu porodními cestami a obtížný porod (Ashton, 1982). Výzkumy odhalily, že incidence traumatických zranění hrudníku u novorozenech hříbat není natolik ojedinělá, jak by se mohlo zdát. Jean et al. (1999) ve studii na 263 hříbatech zaznamenal asymetrii hrudního koše u 20,1 % jedinců. Vizuální a palpační vyšetření hrudníku odhalilo u většiny propadlinu v místě, nebo těsné blízkosti kostochondrálního spojení (Jean et al., 1999; 2007), kde byly poté často potvrzeny i fraktury. U 13,9 % následně rentgenologicky vyšetřených hříbat byly potvrzeny fraktury žebere, u dalších 11,1 % na ně bylo významné podezření. Nedostatečná kvalita pořizovaných snímků, nebo nevhodně zvolená projekce mohly být důvodem, proč se zranění nepotvrdilo u více jedinců (Jean et al., 1999). Vyšetření ultrazvukem se ukázalo jako spolehlivější (Jean et al., 2007). Zatímco jeden výzkum odkryl v 52,75 % případů zranění na pravé straně hrudníku (Jean et al., 1999), v jiném bylo u 78 % pacientů zranění detekováno na straně levé (Jean et al., 2007). Fraktury se nacházely nejčastěji v kraniální části hrudního koše s největší incidencí výskytu mezi 3 až 8 žebrem (Schambourg et al., 2003), případně 2 – 7 žebrem (Jean et al., 2007). V mnoha případech bylo zasaženo více žebere (Jean et al., 1999, 2007; Schambourg et al., 2003). Starší studie sice neukázala signifikantní rozdíl, jen trend k častějšímu traumatu u klisniček (56,6 %), zato novější studie z roku 2007 představila signifikantní rozdíl ve prospěch ženského pohlaví (68 %) (Jean et al., 2007). Umístění fraktur je znepokojující, neboť se významně překrývá s místem úponu svalu *serratus ventralis thoracis*, do češtiny překládaný jako dolní hrudní část pilovitého svalu (úpony na žebrech 1–8/9). Zmíněný sval je nejsilnějším svalem pletence hrudní končetiny a významně se podílí na připojení hrudních končetin skrze lopatku k hrudnímu koši. Zastává ústřední roli v nesení hrudního koše, v pohybu i zastavení zvedá hrudník nahoru proti působení gravitační síly a podílí se na pohybu hrudní končetiny (Fujiwara et al., 2009; Payne et al., 2005). Je neoddiskutovatelné, že zranění hrudního koše hříběte během porodu může ovlivnit způsob,

jakým se bude vyvíjet jeho pohybový vzorec a motorická lateralita. Alarmujícím zjištěním je fakt, že zranění často nedoprovázely klinické projevy (Jean et al., 1999).

Hříbata jsou již brzy po narození schopna pohybu a následování stáda. Od raného věku jsou velice aktivní a často se angažují v pohybových hrách (Rogers & Dittmer, 2019). Při pohybových aktivitách může dojít ke zranění. Jean ve své studii cituje výsledky Diagnostického centra v Kentucky, které uvádí zranění žeber jako druhý nejčastější nález při pitvě hříbat ve věku 2 dní až 6 měsíců (Jean et al., 1999). Je logickým závěrem, že bolestivost může následně ovlivnit, jakým způsobem bude jedinec klást nohy při pasení, kterou končetinou bude iniciovat pohyb, nebo na kterou nohu bude preferenčně naskakovat do evalu.

V rámci ontogenetického vývoje by mohlo mít na výslednou motorickou lateralitu jedince vliv i časné postnatální období. Ve studii z roku 2013 sice nebyl prokázán populační trend, avšak byly potvrzeny individuální rozdíly ve stranové preferenci při kojení u 35,4 % hříbat. Hříbata opakovaně preferovala kojení z levého nebo pravého boku matky a síla preference rostla s věkem (Komárková & Bartošová, 2013). Sledování chování hříbat zeber v ZOO došlo k podobným výsledkům. Na individuální úrovni demonstrovala třetina hříbat preferenci pro jeden bok u sání mléka a tato preference opět vzrůstala s věkem (Pluháček et al., 2013). Výběr strany kojení čerstvě po narození se zdá u koně domácího zcela náhodný (Murphy & Arkins, 2012).

První doklady o využívání koně člověkem pocházejí z doby 3 500 př.n.l. (Outram et al., 2009). Domestikace, selektivní plemenitba a trénink pravděpodobně formovaly projev lateralizovaného pohybového chování u koně domácího *Equus caballus*. Řízená selekce koní pro určitý vzhled (van Heel et al., 2010) a typ práce může vést ke zvýšení asymetrie v pohybové preferenci (McGreevy & Thomson, 2006), kterou může dále zesilovat trénink (McGreevy & Rogers, 2005). Porovnáme-li výsledky studií, které sledovaly preferenci postavení hrudních končetin při pasení, povšimneme si zajímavých rozdílů. Výsledky studií u ferálních koní *Equus caballus* a nedomestikovaných koní Převalského *Equus ferus caballus* ukazují absenci motorické laterality na populační úrovni a jen malý počet koní s preferencí na úrovni individuální (Austin & Rogers, 2012; 2014). Motorická preference se u nich s postupem času dále snižuje (Austin & Rogers, 2012). Autoři toto pozorování připisují zlepšení pohybové zdatnosti s věkem a zkušenostmi. Vidí v něm následek pohybu ve členitém terénu, ve kterém je výhodné být stejně zdatný na obě strany (Austin & Rogers, 2012). V kontrastu s tím stojí výsledky studií u domestikovaných koní, u kterých jednostranná preference s věkem sílí (McGreevy & Rogers, 2005; McGreevy & Thomson, 2006). Z toho vyplývá možná souvislost posílení motorické laterality s domestikací, zatížením a tréninkem ze strany člověka. Rozdíly mezi plemeny by vysvětlovaly rozdílné nároky na výkon, typ pohybu a reaktivitu. U koní plemene quater horse, kteří jsou využíváni na cuttingové soutěže, se vyžaduje rychlá a stejně dobrá reakce na obě dvě strany. Dává proto smysl, že i selekce byla vedena tímto směrem a výsledky výzkumu ukazují menší motorickou preferenci. Na závodní dráze je naopak výhodné mít reaktivnějšího koně. Výrazná preference předkročování levé hrudní končetiny při pasení u anglických plnokrevníků by mohla souviset s dominancí pravé hemisféry (McGreevy & Thomson, 2006). Navíc není běžné, aby byla součástí dostihové závodní přípravy i gymnasticky zaměřená drezurní práce, která by projev laterality snižovala a zachování, či dokonce posílení stranové preference by mohlo být dokonce výhodné s ohledem na směr dráhy, po které kůň běhá. U zeber *Equus burchellii* se na rozdíl od ferálních a nedomestikovaných

koní Převalského ukazuje slabý populační trend pro předkračování levé hrudní končetiny při pasení (McGreevy et al., 2007). Je důležité podotknout, že genetické studie odhalují, že koně Převalského nejspíše nejsou přímým předkem koně domácího (Bowling et al., 2003).

### 3.2.3 Evoluční adaptace a životní styl jezdeckého koně

Z pohledu evoluce je vrozená křivost výhodná evoluční adaptace. Na populační úrovni může být výhodnou při antipredačním chování, kdy všichni jedinci zatáčí při útěku před predátorem stejným směrem. Jedinec, který zatočí do opačného směru, ztratí ochranu stáda a stane se snadnějším terčem. Na druhou stranu i predátoři mají schopnost učení a dá se proto předpokládat, že začnou předvídat, na kterou stranu bude skupina utíkat. Navíc útok na skupinu může zvýšit pravděpodobnost ulovení alespoň jedné kořisti. Proto může být nakonec naopak výhodné patřit do minoritní skupinky s opačnou motorickou lateralitou, která se pro predátora chová nepředvídatelně. Aby se ale udržela, musí zůstat v menšině (Corballis, 2009).

Domestikace a s ní spojená změna životního stylu a pracovní využití začaly klást na tělo koně nové nároky. Současní domácí koně vedou v porovnání se svými volně žijícími příbuznými relativně sedavý způsob života. Ferální koně v Austrálii nachodí denně v průměru 15,9 km, vzdalují se od vody až 55 kilometrů a není výjimkou, že nachodí denně i 28,3 km (Hampson et al., 2010). Naproti tomu domácí koně s možností pohybu ve výběžích o rozloze 16 h nachodili v průměru 7,2 km (Hampson, et al., 2010). V případě menších výběhů ještě méně. Ve zmiňované studii ušel kůň držený na prostoru 6 x 6 metrů za den pouze 0,2 až 1,9 km (Hampson, et al., 2010). Řada především sportovních koní tráví většinu dne v boxe, který opouští pouze na řízený trénink pod jezdcem. Westernoví koně při práci na jízdárně překonají vzdálenost přibližně 2,06 km v rámci náročné 30min tréninkové lekce (Hampson, 2014).

Liší se nejenom celková nachozená denní vzdálenost, ale i intenzita a náročnost pohybových aktivit. Studie z roku 2015 sledovala složení drezurně zaměřené tréninkové lekce vedené profesionálními jezdci. Jezdci v strávili v průměru 38 % tréninkové jednotky v kroku, 39 % v klusu, 8 % ve cvalu na levou ruku a 9 % ve cvalu na pravou ruku. V závislosti na stupni vzdělání koně předváděli koně cviky vyžadující pohyb na kruhu a v ohnutí, couvání, stranové cviky, kontrakval, cvalové přeskoky, cvalové piruety, shromáždění a prodloužení chodů (Eisersiö et al., 2015). Volně žijící koně tráví 60 – 80 % dne pasením (Murphy et al., 2005), během kterého se pohybují převážně krokem (Usherwood & Smith, 2018).

Mezi pohybem volně žijícího koně a koně jezdeckého existuje ještě jeden velký rozdíl. Hřbet jezdeckého koně je při práci zatížen vahou jezdce a výstroje. Ukazuje se, že se zvyšujícím zatížením hřbetu mění i lokomoce koně (Dyson et al., 2020), je ovlivněna symetrie pohybu (Matsuura et al., 2013a; 2013b; 2016), rytmus, délka a frekvence kroku (Gunnarsson et al., 2017). Pasivně sedící jezdec na koni zapříčinil ve studii z roku 2022 zesílení motorické lateralit u sledovaných koní. Vodič vodil koně k bariéře na zemi. Přibližoval se k ní náhodně z pravé a levé ruky. Před bariérou zastavil, počkal, až se kůň postaví s vahou rovnoměrně rozloženou na všechny čtyři končetiny a následně jej požádal o překročení bariéry. Nezávislý pozorovatel zaznamenával preferenci koně při volbě hrudní končetiny, kterou kůň překážku překonal jako první. Ten samý test následně prováděli s jezdcem, který seděl zcela pasivně na hřbetu koně s výjimkou krátkého impulzu holeněmi před bariérou k vybidnutí koně k vykročení. Přestože se směr motorické lateralit neměnil, došlo k významnému zesílení

preferance u testovaných koní (Schwarz et al., 2022). Výzkum biomechaniky pohybu koně na chodícím pásu ukázal, že přidání jezdce asymetrii pohybu mírně prohlubuje (Byström et al., 2021).

### 3.3 Motorická lateralita a její dopady na tělo koně

#### 3.3.1 Kopyta koní

Kopyto koně netvoří jen z venku dobře viditelné rohové kopytní pouzdro, ale i veškeré vnitřní struktury, které kryje a chrání. Evolučně se jedná o poslední článek třetího prstu. Podle nejnovějších hypotéz vznikla monodaktylie u moderního koně nejspíše jako adaptace ke zvýšení pohybové efektivity, nebo jako následek změn v pastevním chování a pohybu vlivem změny klimatu (Janis & Bernor, 2019).

Samotné kopytní pouzdro je derivátem kůže a zahrnuje *epidermis* (pokožku), *dermis* (škáru) a *hypodermis* (podkoží). Zatímco *epidermis* a *dermis* pokrývá veškeré části kopyta, tvoří *hypodermis* vazivový podklad pouze v oblasti prstního polštáře, korunky a obruby (Gerard, 2021). *Hypodermis* tedy nenajdeme v oblasti stěnové plochy kopytní kosti. Výsledné rohové pouzdro kopyta je produktem jednotlivých kopytních škář, tedy *dermis* (Gerard, 2021; Parks, 2003).

##### 3.3.1.1 Anatomie vnitřní části kopyta

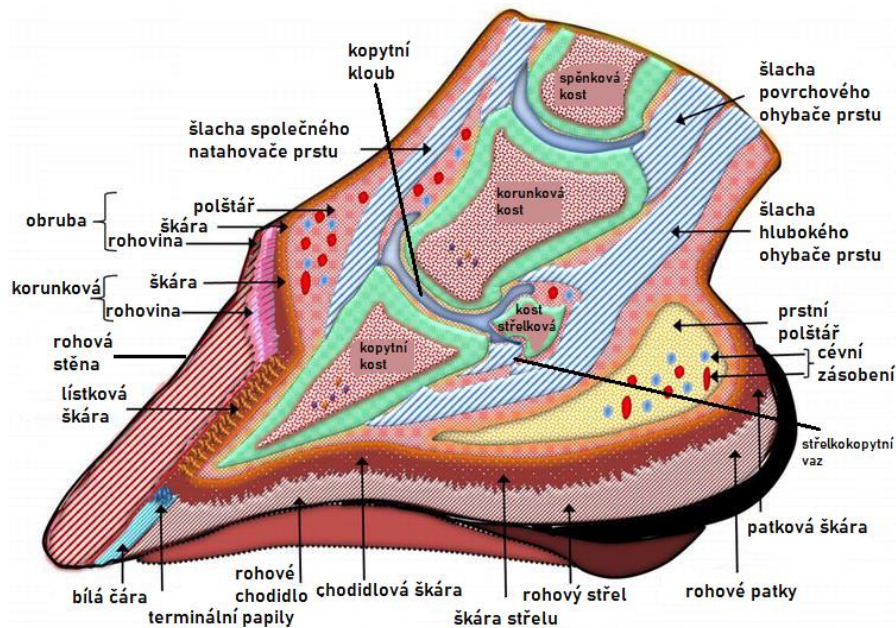
Kostěný podklad kopyta tvoří kopytní kost, střelková kost a část kosti korunkové. Kontaktní plochy kosti kopytní, korunkové a střelkové společně vytváří kopytní kloub (**Obrázek 1**) (Gerard, 2021).

Kopytní kost, označovaná také jako distální článek prstu, nese celou hmotnost koně. Má porézní strukturu díky cévními kanálkům, které umožňují krevním cévám procházet kostí (Pollitt, 2004). Charakterizuje ji typický kuželovitý tvar s vyklenutou chodidlovou plochou, na kterou se v místě ohybačové plošky upíná šlacha hlubokého ohybače prstu. Hrana kolem okraje kopytní kosti se nazývá *margo solearis*, česky chodidlový okraj (Gerard, 2021). Na přední části kopytní kosti se nachází natahovačový výběžek, na který se upíná šlacha společného natahovače prstu. Po stranách vybíhá v palmární výběžky, na které se upínají kopytní chrupavky (Gerard, 2021).

Kopytní chrupavky mají tvar křídel (Gerard, 2021) a během života se jejich struktura mění v závislosti na podmínkách, ve kterých kůň žije a množství pohybu, který má. Původně slabá hyalinní chrupavka sílí a mění se na více fibrózní. Krevní zásobení jde u slabých chrupavek spíše po povrchu, kdežto u silných prochází skrz. Pokud dojde k jejich kostnatění, ztrácejí svoji funkci a nejsou schopny umožňovat roztažení a opětovné smrštění kopyta během zatížení. Bowker postuloval hemodynamickou teorii, ve které hrají roli v mechanismu absorpce energie a snížení otřesů při došlapu kopyta na zem (Bowker et al., 1998).

Mezi palmárními výběžky na zadní straně kopytní kosti leží střelková kost, známá též jako distální sezamská kost. Kolaterální sezamské vazy ji přichycují ke kosti korunkové, zatímco střekokopytní vaz ji spojuje s kostí kopytní (Gerard, 2021). Střelková kost funguje jako vodící kladka pro šlachu hlubokého ohybače (**Obrázek 1**). Spolu s tíhovým váčkem, který je uložen mezi kostí a šlachou, chrání šlachu hlubokého ohybače před nadměrným třením, a tím

i opotřebením, modifikuje směr tahu a zvyšuje svalovou efektivitu svalového břicha asociovaného se šlachou (Parks, 2003).



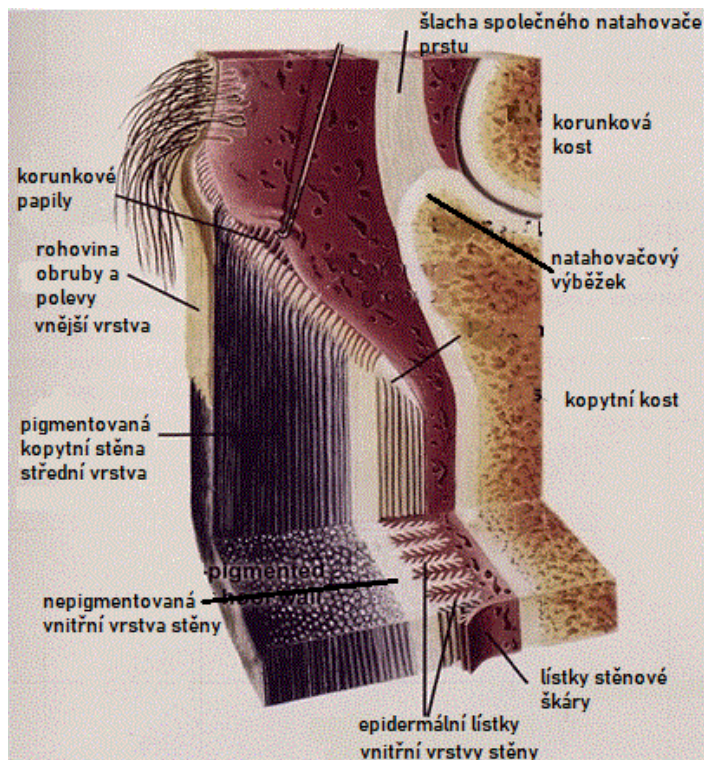
**Obrázek 1:** Anatomie kopyta. Převzato a upraveno z (Al-Agele et al., 2019)

Pod střílkovou kostí a šlachou hlubokého ohybače prstu leží klínovitý útvar nazývaný vazivový střel, který v patkové části kopyta plynule přechází v patkový polštář. Souhrnně jsou označovány jako prstní polštář. Je umístěn mezi kopytními chrupavkami, na spodní straně ho od vnějšího prostředí odděluje rohový střel. Stejně jako kopytní chrupavky se vyvíjí a mění s věkem v závislosti na stimulech prostředí. U mladých koní je tvořen převážně tukovou tkání, která je měkká a houbovitá. Zdravý a dobře vyvinutý prstní polštář je pevný, tvořený především fibrózní a chrupavčitou elastickou tkání (Bowker et al., 1998). Významně se podílí na absorpci nárazů, a tím i ochraně měkkých tkání a kostěných struktur uvnitř kopyta (Bowker et al., 1998). Navíc je protkaný množstvím proprioreceptorů (Famarzi et al., 2017), které koni pomáhají s příjmem informací z prostředí a koordinací pohybu (Linder, 2016).

Kopyto je bohatě prokrvované a protkané sítí nervů. Především škára kopyta potřebuje vydatné krevní zásobení, protože zprostředkovává výživu pro epidermální buňky rohového pouzdra. Podle místa, kde se nachází, je kopytní škára členěna na škáru obruby, korunkovou, stěnovou, chodidlovou, a nakonec střelovou a patkovou (**Obrázek 1**) (Pollitt, 2004).

Škára obruby produkuje obrubu, která leží na hranici kůže a kopytního pouzdra. Dále její aktivitou vzniká poleva kopytní stěny (Gerard, 2021).

Korunkový okraj je produktem korunkové škáry, která tvoří val po obvodu kopyta. Pro korunkovou škáru jsou typické papily (**Obrázek 2**), jejichž činností se tvoří většina kopytní stěny. Produkují rourkovou rohovinu (Pollitt, 2004).



**Obrázek 2:** Anatomie kopytní stěny s dobře viditelnými primárními a sekundárními listky vnitřní vrstvy stěny i stěnové škáry na kopytní kosti. Převzato a upraveno z (Pollitt, 2008)

Následuje škára stěnová, známá také pod označením lístková škára, která pokrývá celou stěnovou plochu kopytní kosti a je s ní pevně spojena. Pro škáru stěny jsou typické vertikálně směřované listky. Z přibližně 600 primárních lístků vystupují další sekundární listky, které zapadají do epidermálních lístků (lamel) kopytního pouzdra a tvoří pevné spojení (**Obrázek 2**). Lísková škára vyživuje lístkovou rohovinu a tvoří mezirourkovou rohovinu (Gerard, 2021), která je formována kolmo vůči rohovině rourkové (Pollitt, 2004; Thomason et al., 1992).

V distální části přechází lístková škára stěny v terminální papily vytvářející rohovinu bílé čáry (O’Grady & Burns, 2021), která tvoří spojení a přechod mezi rohovinou chodidla a kopytní stěny.

Chodidlovou plochu kopytní kosti pokrývá bradavkovitá chodidlová škára, která, jak už jméno napovídá, tvoří rohové chodidlo. Plynule přechází v jemnou bradavkovitou škáru střelu a v zadní části kopyta i patek, které dávají vzniknout rohovému střelu a rohovým patkám (Gerard, 2021; Parks, 2003; Pollitt, 2004).

### 3.3.1.2 Anatomie kopytní stěny a dynamika rohového pouzdra

Dominantou rohového pouzdra je kopytní stěna, která se skládá ze tří vrstev *stratum externum* (vnější vrstvy), *stratum medium* (střední vrstvy) a *stratum internum* (vnitřní vrstvy).

Vnější vrstva reprezentuje rohovinu obruby a polevy, která vytváří na povrchu kopyta průhlednou glazuru a funguje jako bariéra proti vlhku. Rohovina obruby má kožovitý charakter a nepokrývá stěnu v celé délce (Parks, 2003; Pollitt, 2004).

Střední vrstva je to, co vidíme a vnímáme jako „kopyto“. Je nejsilnější vrstvou kopytní stěny a má charakteristickou 3D strukturu danou kombinací paralelně uspořádaných

tubulárních rohových rourek, mezi které vstupuje mezirourková rohovina (Thomason et al., 1992). Dohromady tvoří pevnou, ale flexibilní strukturu, která je mechanicky stabilní a má viskoelastický charakter (Kasapi & Gosline, 1996). Může nebo nemusí být pigmentovaná. Významně se podílí na nosné funkci kopyta a přenášení reakční síly podložky nahoru do končetiny a těla koně (Dyhre-Poulsen et al., 1994). Rourky nejsou uspořádány v rámci vrstvy rovnoměrně. Na vnější straně je jejich hustota vyšší a stěna je více rigidní. Směrem k vnitřní straně jejich počet klesá a struktura stěny se stává více plastickou. Zdá se, že tento gradient slouží k hladkému přenosu sil při dopadu kopyta na zem, snížení stresových sil působících na kopytní kost (Lancaster et al., 2013; Pollitt, 2004) a k eliminaci vzniku prasklin (Bertram & Gosline, 1986). I rozdílná vlhkost vrstev přispívá k mechanickým vlastnostem kopytní stěny (Thomason et al., 1992).

Pro nepigmentovanou vnitřní vrstvu jsou charakteristické primární a sekundární epidermální lístky, které tvoří s primárními a sekundárními dermálními lístky stěnové škáry pevné spojení připomínající zip (Pollitt, 2004), takzvaný závěs kopytní kosti (Pollitt, 2004).

Kopytní stěna se v oblasti patkové hrany stáčí zpět a tvoří anatomickou strukturu nazývanou rozpěrky (Bowker et al., 1998). Kopytní pouzdro je dynamická biologická struktura, která mění tvar v závislosti na zatížení. Při došlapu dochází ke stlačení rohového střelu a prstního polštáře, kopytní chrupavky a rohové patky se od sebe oddalují, dochází k rozšíření celé zadní části kopyta (Johnston & Drevemot, 2001). Kopytní kost při tom v rámci kopytního pouzdra lehce poklesne. Následuje zploštění chodila a změna tvaru kopytního pouzdra. Dorzální kopytní stěna poklesne mírně dozadu a dolů, čtvrtě se pohybují do stran, zadní část kopyta se roztahuje (Johnston & Back, 2006; Johnston & Drevemot, 2001; Thomason et al., 1992). Při odlehčení kopyta se rohové pouzdro vrací do původního tvaru. Anatomie a struktura kopytního pouzdra mu umožňuje pružně reagovat na změny zatížení (Bellenzani et al., 2012; Thomason, 1998) a odlišné vlastnosti povrchu, po kterém se kůň pohybuje (Thomason, 1998). Pokud však dlouhodobě dochází k asymetrickému působení sil na kopytní pouzdro, dochází postupně i ke změně jeho tvaru (O'Grady, 2014).

### **3.3.1.3 Motorická lateralita a nepravidelná kopyta**

Učebnice podkovářství považují za ideální úhel dorzální kopytní stěny u hrudních končetin 50 stupňů (Kysilka et al., 2006). Výsledky řady experimentálních prací skutečně ukázaly průměrné hodnoty kolem tohoto čísla (Clayton et al., 2011; Oosterlinck et al., 2011). Za kopyta ostroúhlá, též nazývaná plochá, jsou považována kopyta s úhlem dorzální kopytní stěny menším než 50 stupňů (Kysilka et al., 2006; Wiggers et al., 2015). Avšak některé knižní publikace vidí optimální hodnoty v rozmezí 45 – 50 stupňů (Strasser, 2004). S tím nesouhlasí studie Wiggers et al. (2015), která považovala za „střední“ hodnoty rozptyl 50 – 55 stupňů. Překročení hodnoty nad 55 stupňů vede k označení kopyta za tupoúhlé (Kysilka et al., 2006; Wiggers et al., 2015). Je nesporné, že mezi jednotlivými koňmi existují rozdíly, které jsou dané individuální stavbou těla a konstitucí typickou pro jednotlivá plemena. Všeobecně je žádoucí, aby byla dorzální kopytní stěna paralelní se spěnkovou kostí a všechny tři články prstu (kost kopytní, korunková i spěnková) ležely v ose (O'Grady, 2014).

Úhly mimo optimální rozmezí s sebou nesou negativní dopady především na distální část končetin. Zvednutí patek o 5 stupňů bylo spojeno se zvýšením nitrokloubního tlaku u kopytního

kloubu (Viitanen et al., 2003), což může mít za následek zahájení destruktivních procesů uvnitř kloubu. Zvýšení patek vede i k většímu namáhání mezikostního svalu a povrchového ohybače prstu (Lawson et al., 2007; Riemersma et al., 1996).

Přespříliš nízké patky jsou řazeny mezi možné predispoziční faktory vedoucí ke vzniku navikulárního syndromu (Wright, 1993). U ostřejších úhlů kopyt byl zaznamenán i častější došlap přes špici, který je považován ve většině případů za nežádoucí (Clayton, 1990). Zalomení osy prstu dozadu a přehnaná extenze kopytního kloubu zapříčiní zvýšení sil, které působí na měkké struktury v zadní části kopyta. Roste napětí na šlaše hlubokého ohybače prstu (Lawson et al., 2007) a narůstají stresové síly působících na střelkovou kost (Eliashar et al., 2004; Thompson et al., 1991). Z uvedeného je zřejmé, proč je z pohledu welfare koně důležité dbát na udržování zaúhlení kopyt v rámci optimálního rozmezí. Výrazné vychýlení jedním i druhým směrem s sebou nese zvýšená zdravotní rizika.

Asymetrická kopyta vedou k rozdílné biomechanice zatížení distálních kloubů končetin (Kroekenstoel et al., 2006) a kopyt při došlapu. Tématu se věnovala studie van Heel et al. (2006), ve které sledovali souvislosti postavení končetin hříbat při pasení se změnou symetrie kopyt a umístění centra tlaku (COP – center of pressure). Výsledky jejich výzkumu ukázaly, že se snížením úhlu dorzální kopytní stěny dochází k posunu centra tlaku směrem k patkám. Koně s asymetrickými kopyty měli centra tlaku umístěna významně jinak než koně s kopyty pravidelnými (van Heel et al., 2006). Posturální preferenci při pasení zaznamenali u 46 % hříbat.

Pravidelná korektura kopyt významně neovlivnila rozvoj nepravidelnosti kopyt, ani nedokázala zabránit vzniku posturální preference při pasení. Zajímavá byla korelace snížení asymetrie kopyt se změnou ustájení a předkládáním krmiva do vyšší pozice, která nutila koně stát při krmení více snožmo. Autoři vyvozují, že úprava kopyt v intervalu 4 – 8 týdnů sama o sobě není dostatečná, aby změnila úhly u kopyt, na které po velkou část dne působí rozdílné zatížení vlivem motorické laterality (van Heel et al., 2006). Měření zopakovali ve věku 3 let. Zjistili, že souvislost mezi motorickou preferencí a nepravidelností kopyt s věkem zesílila a ovlivňovala jejich cvalovou preferenci. U koní s výrazným upřednostňováním rozkročené pozice u pasení byla asymetrie kopyt téměř čtyřnásobná. K dispozici byl však jen velmi malý vzorek koní (van Heel et al., 2010).

Nepravidelná kopyta predisponují koně ke kratší sportovní kariéře. Silný vliv se projevil především u skokových koní na elitní úrovni. Nicméně trend bylo možné pozorovat i u drezurních koní (Ducro et al., 2009). I malá asymetrie mezi kopyty vede k signifikantnímu rozdílu v zatížení kopytních kloubů jednotlivých končetin mezi termíny úprav (Moleman et al., 2006). Relativní nárůst momentu byl u ploššího kopyta o 2,4 % větší. Rozdíl mezi úhly kopyt se přitom nezdál výrazně velký a byl v průměru jen 2,9 stupně (Moleman et al., 2006). Zatím není zcela jasné, kde leží hranice mezi akceptovatelnou asymetrií mezi kopyty a rozdílem, který predisponuje k větší incidenci zranění.

Některé studie ukazují na častější tendenci výskytu tupouhlejšího kopyta na pravé hrudní končetině (Wiggers et al., 2015). Tupouhlejší kopyto se s menším odporem dříve převalí do letové fáze, protože na něj působí menší brzdná síla a noha je „tužší“. Na ostrouhlejší kopyto působí větší vertikální síla, trvá mu déle se převalit, protože mívá obvykle i delší špici a vykazuje větší zapružení ve spěnkovém kloubu (Wiggers et al., 2015).



Studie na holandských teplokrevnicích nepotvrdila, že by byla nepravidelnost kopyt geneticky podmíněná (Ducro et al., 2009). Selektce pro tělesnou konstituci s malou hlavou a dlouhými končetinami by mohla být spouštěčem pro lateralizované motorické chování. Moc dlouhé nohy v kombinaci s malou hlavou vedou hříbě k pasení ve výrazně rozkročeném postoji, což nahrává rozvoji stranové preference a následné asymetrie kopyt (van Heel et al., 2010; 2006).

### 3.3.2 Motorická lateralita v pohybu koně

Zmiňovaná selektce mohla být vedena i s cílem získat reaktivnějšího a rychleji reagujícího koně. Za dobrý příklad poslouží anglický plnokrevník. Preference předkračovat levou hrudní končetinu při pasení (McGreevy & Rogers, 2005; McGreevy & Thomson, 2006) by u nich mohla být spojena s pravou mozkovou hemisférou, která je spojena s vyšší reaktivitou a emocionalitou (Rogers, 2010).

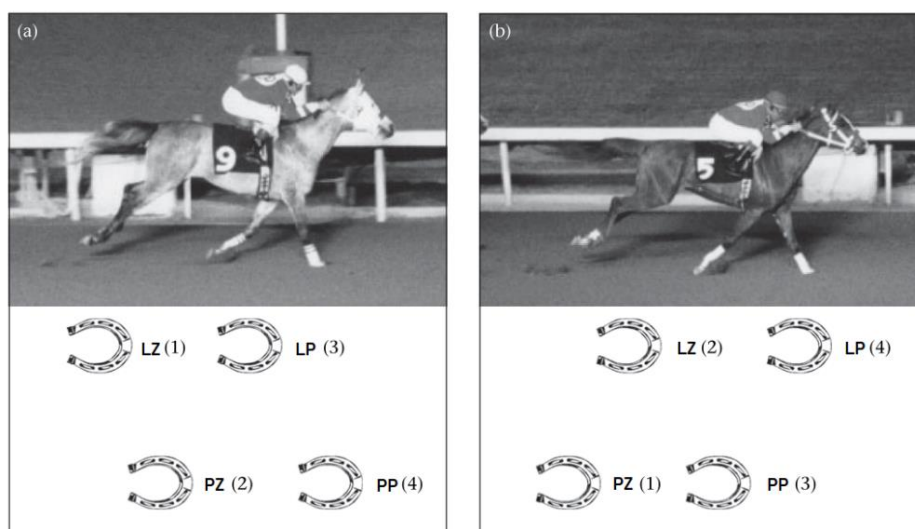
Studie z roku 2007 sledovala preferenci vedoucí nohy u koní při odstartování ze startovního boxu a při přechodech z klusu do cvalu. V rámci výzkumu sledovali anglického plnokrevníka, arabského plnokrevníka a koně plemene quarter horse. V USA jsou tradičně dostihové dráhy proti směru hodinových ručiček (levotočivé), zatímco v Hong Kongu a Austrálii se závodí po směru hodinových ručiček (pravotočivé). Závody quarter horse se běhají na rovné dráze. Vyhodnocovali pravotočivé, levotočivé i rovné dráhy. Závěry odhalily silnou preferenci pro vedení pravou hrudní končetinou u 90 % koní. Pouze 10 % dávalo přednost levé končetině. Pohlaví, plemeno ani směr dráhy nehrálo roli (Williams & Norris, 2007). Na rozdíl od četných studií, které neukázali lateralitu na populační úrovni, se zde poměr shoduje rozdělením praváků a leváků v lidské populaci (de Kovel et al., 2019). Koně měnili nohy pouze, pokud probíhali zatáčkou, nebo byli například unaveni na konci závodu (Williams & Norris, 2007).

V rozporu s těmito výsledky je starší studie z roku 1987, která naopak ukázala silnou preferenci pro vedení levou hrudní končetinou ve cvalu. K dispozici byl však jen velice malý vzorek 4 koní plemene quarter horse (Deuel & Lawrence, 1987). Třetí studie, která se věnovala motorické lateralitě u anglických plnokrevníků, nenašla preferenci na populační úrovni (Cully et al., 2018). Na individuální úrovni se potvrdila preference pro vedoucí levou hrudní končetinu. Rozdílné chování ukázal směr dráhy. Na dráze po směru hodinových ručiček naskakovali koně do cvalu častěji na levou nohu, zatímco při závodech proti směru hodinových ručiček byl výběr vedoucí nohy vyrovnaný (Cully et al., 2018).

Práce Williamsova et al. (2007) porovnávala i odlišnosti v pohybovém vzorci v závislosti na vedoucí noze. Autor článku předkládá zajímavou myšlenku, která praví, že by k rozdílům v pohybovém vzorci při cvalu na levou a pravou ruku mohla přispívat i asymetrie tělesná, konkrétně asymetrie plic. Pravá plíce má o jeden plicní lalok více. Kůň se rytmicky nadechuje a vydechuje v rytmu cvalu (Lafortuna et al., 1996). Cval na pravou ruku by mohl koni dovolit větší roztážení pravé strany hrudního koše, a tím i výměnu většího objemu kyslíku (Williams & Norris, 2007).

Otázka, podle čeho hodnotit stranovost koně ve cvalu, dobře demonstruje komplexitu a komplikovanost hodnocení motorické laterality u koní. Cval je asymetrický pohyb, který iniciuje jedna z pánevních končetin. Pokud kůň vede pravou hrudní končetinou, byl pohyb

zahájen levou pánevní končetinou. Na snímku (**Obrázek 3**) je zachycen kůň v trysku, což je forma rychlého cvalu, kdy dochází ke změně třídobého chodu na čtyřdobý vlivem rozložení cvalové diagonály (pánevní končetina dopadne na zem před diagonální hrudní) (Clayton & Hobbs, 2017). K výše zmíněnému se přidává poznatek, že nevedoucí končetina je z dvojice nohou namáhanější (Davies, 1996). Vyvstává otázka, zda koně, který vede ve cvalu preferenčně pravou hrudní končetinou označit z pohledu člověka za „praváka“ nebo „leváka“.



**Obrázek 3:** Snímky dostihových koní ve cvalu (trysku). (a) Kůň vede pravou hrudní končetinou. (b) Kůň vede levou hrudní končetinou. Nohosled končetin je uveden pod snímky. Čísla v závorkách označují pořadí dopadu kopyt na zem. Převzato a upraveno z (Williams & Norris, 2007)

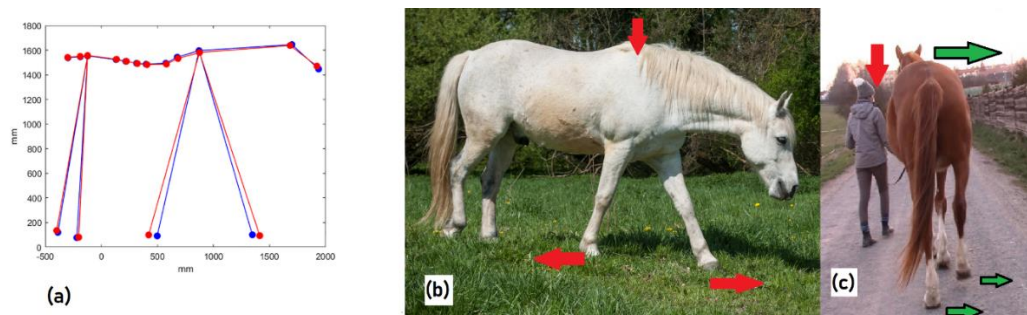
Obdobně se Wells (2008) zamýšlel, jak hodnotit motorickou lateralitu koně na základě rozkročeného postoje při pasení. Klonil se k názoru, že by z pohledu koně mohla být preferovanou končetinou ta, která nese více váhy a měla by proto být silnější (Wells & Blache, 2008). V lidské populaci mají praváci silnější pravou ruku, zatímco u leváků se síla stisku u dominantní a nedominantní ruky neliší (Petersen et al., 1989; Incel et al., 2002). Biomechanická analýza pohybu ve cvalu ukázala, že koně více spoléhali na oporu od pravé hrudní končetiny v porovnání s levou (Deuel & Lawrence, 1987). Delší dobu kontaktu si pravá hrudní končetina zachovala i ve chvíli, kdy nebyla vedoucí končetinou. Deuel formuluje vysvětlení, ve kterém vidí pravou hrudní končetinu jako hlavní končetinu opory. To by mohlo indikovat její větší sílu a kůň ji zvolí ve chvíli, kdy potřebuje, aby odolávala větším stresovým silám, které působí na nevedoucí končetinu ve cvalu (Davies, 1996; Deuel & Lawrence, 1987). Z toho plyne, že kůň, který volí jako svou hlavní oporu pravou hrudní končetinu, povede ve cvalu na levou nohu. Výsledky navíc ukázaly, že při cvalu na levou ruku byly cvalové skoky delší (Deuel & Lawrence, 1987). Deuelova studie však probíhala pouze na 4 koních.

Končetiny na vnější straně obratu jsou vždy více namáhané. Vyšší rychlost a menší poloměr obratu zatížení dále zvyšuje. Ve cvalu je více namáhaná nevedoucí končetina (Davies, 1996). Existuje vyšší pravděpodobnost, že u anglických plnokrevníků na dráze dojde ke zranění na levé hrudní končetině (Peloso et al., 1994). To by korelovalo s výraznou preferencí koní cválat na pravou nohu (Williams & Norris, 2007), a tím pádem namáhat více levou nevedoucí nohu (Davies, 1996), která je pak častěji zraněná (Peloso et al., 1994).

Studie, která sledovala zranění kosterně svalového aparátu dostihových koní v Newmarketu zjistila, že některá zranění byla častěji na pravé hrudní končetině. Jednalo se o kopytní kost (86,6 %), karpální kloub (81,5 %) a šlachy povrchového ohybače prstu (69,2 %) (Ramzan & Palmer, 2011). Údaje o tvaru kopyt studie bohužel neposkytuje. Z jiných studií ale víme, že tupouhlejší kopyta jsou spojena s vyšší „tuhostí“ končetiny, větším nitrokloubním tlakem u kopytního kloubu (Viitanen et al., 2003) a větším namáháním šlachy povrchového ohybače prstu (Lawson et al., 2007; Riemersma et al., 1996). Výzkumy na teplokrevných koních uvádějí, že 70 % má větší a plošší kopyto na levé hrudní končetině (Kummer et al., 2006).

### 3.3.3 Motorická lateralita, pokles kohoutku a deviace zádě

Motorická lateralita se u koní projevuje i asymetrickým poklesem kohoutku (Byström et al., 2018; 2021; Egenvall et al., 2020). Během kroku je kohoutek nejnižší ve chvíli, kdy dochází k přesunu těla z jedné hrudní končetiny na druhou (**Obrázek 4**). Přesněji řečeno na konci stojné fáze končetiny v retrakci (zakročena) a na začátku stojné fáze končetiny v protrakci (předkročena). Strana, na které kohoutek klesá níže, je pojmenována podle hrudní končetiny, která je v ten moment v protrakci. Asymetrický pokles hrudníku doprovází i asymetrický krok jednotlivých končetin. Jestliže situaci popíšeme vůči straně, na kterou klesá níže kohoutek, pak kontralaterální hrudní končetina vykazuje delší retrakci, zatímco ipsilaterální (stejnostranná) končetina delší protrakci. Končetiny jsou tedy v pohybu na této straně více „rozkročené“. Větší rozkročení se pojí i s poklesem kohoutku níže. Při pohledu na pánevní končetiny uvidíme, že ipsilaterální (stejnostranná) pánevní končetina vykazuje lehce kratší retrakci i protrakci ve stejné fázi kroku v porovnání s kontralaterální pánevní končetinou. Celá zád se vychyluje do kontralaterální strany (**Obrázek 4**). Pokud bychom jako příklad uvedli výraznější pokles kohoutku na levou stranu, pak zád uhybá doprava, pravá hrudní končetina zůstává déle zakročena a levá hrudní končetina vykračuje více vpřed (Byström et al., 2018).



**Obrázek 4:**

(a) Kinematický model koně v kroku. Pozice končetin ve chvíli, kdy kůň překračuje z pravé hrudní končetiny na konci stojné fáze na levou končetinu na začátku stojné fáze. Kohoutek (trnový výběžek Th6) je v nejnižší pozici. Červený model ukazuje nižší nejnižší pozici Th6 a větší rozkročení hrudních končetin při překročení z jedné končetiny na druhou. Modrý model ukazuje vyšší nejnižší pozici Th6 a menší rozkročení. Převzato a upraveno z (Anna Byström et al., 2018)

(b) U většiny koní klesá kohoutek více ve chvíli, kdy je v protrakci levá hrudní končetina. Retrakce pravé hrudní končetiny je delší. Kůň dělá delší krok. Zdroj obrázku: Canva.com (upraveno)

(c) Pokud klesá kohoutek níže ve chvíli protrakce levé hrudní končetiny, dochází k vychýlení zádě doprava. Zdroj obrázku: foto archiv autorky

Při měření rozměrů trupu na úrovni kohoutku se ukázalo, že 60 % koní má větší levou polovinu hrudníku (Merkies et al., 2020). Rozdílný styl chůze levou a pravou hrudní končetinou by mohl být jedním faktorů, který tento objev vysvětluje. Motorická lateralita pravděpodobně vede k rozdílné angažovanosti, a tím pádem i nestejnomyšlnému rozvoji svalových skupiny jednotlivých hrudních končetin (Colborne et al., 2009).

Výzkumy (Byström et al. (2018) a Colborne et al. (2009) se svými pozorováními navzájem podporují. Po fázi poklesu kohoutku následuje vyzvednutí nahoru. Ve chvíli, kdy je ve stojné fázi opory jen jedna hrudní končetina, je kohoutek nejvýše a kůň se přes ni převalí vpřed. Následně kohoutek opět klesá dolů. U 5 ze 7 koní klesal kohoutek níže s protrakcí levé hrudní končetiny (71,4 %), u 1 koně více s protrakcí pravé hrudní končetiny (zád' se pak vychylovala doleva) a u jednoho koně byl pohyb kohoutku symetrický. To znamená, že koně nechávali častěji více zakročenou pravou hrudní končetinu. S pozorováním této studie souhlasila i studie Colborne et al. (2009). U 7 z 9 koní si všimli většího externího momentu na pravé hrudní končetině. To by mohlo napovídat, že pravá hrudní končetina není tak aktivně tažena z retrakce vpřed a zůstává proto zakročena déle. Kůň takovou končetinu bude požívat spíše jako pasivní vzpěru, přes kterou se převalí vpřed (Colborne et al., 2009). U obou studií probíhal výzkum na rovné linii.

Rozdíl pozice kohoutku byl hodnocen na základě poklesu pozice šestého hrudního obratle a u koní bylo vyloučeno kulhání jako příčina asymetrie pohybu (Byström et al., 2021; Egenvall et al., 2020). Pohyb hrudního koše je provázaný s pohybem páteře. Častější deviace zádě doprava byla zaznamenána ve studiích, které hodnotily pozici zádě vůči hrudním končetinám v zastavení (Kuhnke & König von Borstel, 2022). Mezi studiemi v zastavení i v pohybu panuje shoda. Asymetrický pohyb kohoutku a zádě by mohl osvětlit pozorování hříbat a mladých koní, které odhalilo, že je pro koně těžší udržet linii kruhu při pohybu doprava, zatímco na kruhu doleva se tento problém neobjevoval (Lucidi et al., 2013). Koně při pohybu na kruhu nepoužívají obě dvě hrudní končetiny stejným způsobem. Rozdíl v používání končetiny závisí i na směru zatáčení. Při pohybu na 5m kruhu na levou ruku v kroku, docházelo k interní rotaci u levé hrudní končetiny u 5 ze 6 koní. U pravé hrudní končetiny u 4 ze 6 jedinců. Při pohybu na kruhu na pravou ruku se situace změnila. Na levé hrudní končetině zůstala interní rotace, kdežto u pravé hrudní končetiny byla slabá externí rotace. Pravá hrudní končetina měnila směr rotace s ohledem na směr kruhu, po kterém se kůň pohyboval (Heaps et al., 2011).

### **3.3.3.1 Deviace zádě a tlakové síly u kopyt**

Data mohou být interpretována různými způsoby. Studie Hobbs et al. (2018a; 2018b) sledovala síly působící na kopyta v klusu pomocí silových plošin. Bez ohledu na to, které kopyto bylo u hrudních končetin tupouhlejší, levá pánevní končetina došlapovala vždy stejně. Laterálně směřovaná reakční síla podložky naznačuje, že mohl kůň během stojné fáze došlapovat více mediálně, tedy více směrem pod tělo (Hobbs et al., 2018b). Mediální došlap levé pánevní končetiny by mohl být způsoben zvýšenou aktivitou přitahovačů, které povedou končetinu při došlapu více pod tělo, nebo rotací pánve (deviací do strany) před došlapem (Hobbs et al., 2018b). Kuhnke a její kolegové si ve své studii povšimli (2022), že 73,1 % koní vykazuje deviaci zádě doprava, zbývajících 26,9 % doleva. Deviace zádě doprava by mohla vysvětlovat, proč byly u levé pánevní končetiny naměřeny laterálně směřované reakční síly

podložky u obou diagonál (Hobbs et al., 2018b). Diagonály nebyly oproti očekávání autora článku zrcadlovým obrazem.

Literatura uvádí, že 75 – 55 % lidí má silnější levou pánevní končetinu (Cuk et al., 2001). Výsledky studie Cuk (2001) ukázaly, že bez ohledu na to, zda byl jedinec klasifikován jako pravák nebo levák, byla stehenní kost silnější u levé pánevní končetiny. Na základě tohoto výsledku Cuk polemizoval, že je levá pánevní končetina většinou hlavní opornou končetinou bez ohledu na stranovou preferenci jedince, protože na ni během života působí větší vertikální síly (Cuk et al., 2001; Macho 1991). Výsledky Hobbs et al. (2018b) by mohly být interpretovány podobně. Bez ohledu na asymetrii hrudních kopyt, levá pánevní končetina mohla došlapovat více směrem pod tělo (Hobbs et al., 2018b), tedy blíže těžišti koně. Taková pozice by mohla být lepší pro oporu a nesení těla. Tuto myšlenku podporuje objev silnější levé stehenní kosti u anglických plnokrevníků (Pearce et al., 2005). Nedá se zcela vyloučit, že tento nález nemohl být ovlivněn pravotočivým směrem dráhy, po které studovaní koně běhali. Davies (1996) a Leśniak (2013) se však kloní k názoru, že jsou rozdíly v rozměrech kostí pravděpodobně způsobené motorickou lateralitou, ve které kůň tráví své dny, spíše než krátkodobými tréninkovými jednotkami. Rozsáhlá studie, která sledovala cvalové preference dostihových koní, odhalila 90 % preferenci pro zahájení cvalu levou pánevní končetinou bez ohledu na směr dráhy (Williams & Norris, 2007). Závěry dalších studií tuto preferenci nepotvrdily (Cully et al., 2018; Deuel & Lawrence, 1987).

Výzkum Hobbs et al. (2018b) zjistil, že pokud bylo tupouhlejší kopyto na pravé hrudní končetině, byly na pravé pánevní i hrudní končetině mediálně směřované reakční podložky. Ze studie tedy plyne, že u takového koně budou medio-laterální síly směřovat více vlevo (s výjimkou levé pánevní končetiny, u které šly vpravo). Pro takové koně by mohlo být obtížnější zatáčet doprava a spíše by měli tendenci ztrácet linii kruhu zkracováním směrem dovnitř (Hobbs et al., 2018b). Zkracování dovnitř kruhu na pravou ruku si všimla studie na hříbatech a mladých koní z roku 2013 (Lucidi et al., 2013). Motorická lateralita rostla s věkem. U hříbat zkracovalo 31 % jedinců, u dvouletých koní číslo vzrostlo na 90,9 % (Lucidi et al., 2013).

U 79 % koní s tupouhlejším kopytem u pravé hrudní končetiny bylo centrum tlaku ve stojné fázi kroku umístěno laterálně (více vpravo). Sledování pozice centra tlaku v rámci krokového cyklu na rovné linii odhalilo, že asymetrie kopyt nutně nevyústí v asymetrické umístění centra tlaku, a naopak symetrická kopyta automaticky neznamenají symetrickou pozici (Nauwelaerts et al., 2017). Výzkum zaznamenal, že je centrum tlaku při došlapu u kopyt na pravé straně těla všeobecně lokalizované více laterálně. Na levé polovině těla dochází ke kontaktu více mediálně s následným laterálním posunem (Nauwelaerts et al., 2017). Zjednodušeně řečeno je v případě všech kopyt začátek došlapu spíše na pravé části kopyta. Jaká je souvislost mezi centrem tlaku a frontálním směrem reakční síly podložky, která byla probírána v předchozím odstavci, není zatím zcela jasné.

Hobbs et al. (2018b) ve své studii naměřila všeobecně vyšší propulzivní síly u tupouhlejších kopyt. V případě vyššího úhlu u levé hrudní končetiny vykazovala diagonála LP – PZ větší propulzivní sílu vpřed a zároveň došlo k prohloubení asymetrie klusových diagonál (Hobbs et al., 2018b). Obdobný vzorec se objevuje i u kulhajících koní (Weishaupt, 2008). Hobbs et al. (2018b) spekuluje, že koně s nepravidelnými kopyty a asymetrickým pohybem diagonál používají kompenzační mechanismus kontrakce paraspinálních svalů kolem

páteře, tzv. „spinal stiffening, který následně omezuje schopnost laterálního ohnutí hřbetu. Vyslovuje myšlenku, že by diagonála PP – LZ mohla být dominantní diagonálou (Hobbs et al., 2018b).

Nelehkou otázkou zůstává, kdy pohybová asymetrie přechází v kompenzační pohybový vzorec spojený s kulháním. V případě asymetrie způsobené kulháním by měly být projevy mezi chody více konzistentní. Mírné kulhání v kroku by se mělo prohloubit v klusu vlivem působení vyšší rychlosti a sil. Pohybový vzorec vzniklý motorickou lateralitou je usazen na základě běžného asymetrického používání těla a vzhledem k jeho komplexitě se nedá přesně odhadnout, jak bude ovlivňovat jednotlivé chody, které mají rozdílnou charakteristiku a rozsahy pohybu (Byström et al., 2021; 2018).

### 3.3.4 Zdravotní dopady motorické lateralit

U koní, stejně jako u lidí, vede motorická lateralita k asymetrickému osvalení a svalové síle (Diederichsen et al., 2007; Merckes et al., 2020; Petersen et al., 1989). Ovlivněna je i morfologií dlouhých kostí, neboť dle Wolfova zákona dochází ke změně struktury kosti s ohledem na síly a stres, kterým jsou vystavované (Cuk et al., 2001; Pearce et al., 2005; Wilson et al., 2009).

Koně, kteří se nepohybují v rovnováze a zatěžují nebo namáhají více jednu část těla, čelí vyššímu riziku zranění inkriminovaných oblastí (Dalín et al., 1985; Dyson & Murray, 2003; Tomlinson et al., 2003). Kvalitní, vybalancovaný a dobře vedený trénink je proto základním předpokladem pro udržení jezdeckého koně zdravého a aktivního až do vysokého věku. Není žádným překvapením, že starší lidé častěji trpí bolestmi svalové kosterního aparátu, které mohou vedle zřejmých potíží s mobilitou, vést i k problémům se spánkem nebo ovlivňovat mentální pohodu jedince (Welsh et al., 2020). Není důvod nepředpokládat, že by stejné neduhy nemohly trápit i koně, proto je s ohledem na jejich welfare potřeba minimalizovat dopady pohybové asymetrie na zdravotní stav kosterně svalového aparátu včetně kopyt.

Určitá míra pohybové a tělesné asymetrie je přirozeným úkazem u koní i lidí (Cuk et al., 2001). Nejspíše se na ní spolupodílí i asymetrické uspořádání orgánů uvnitř těla (Krueger et al., 2022). Výrazná asymetrie může vést ke zhoršení výkonu (Dalín et al., 1985) a v konečném důsledku až k vyloučení koně z tréninku následkem zranění. U koní byla odhalena delší třetí metakarpální (Watson et al., 2003; Davies & Watson, 2005; Leśniak, 2013) a metatarzální (Leśniak, 2013) kost na pravé straně těla. Tyto kosti byly zároveň širší na levé straně těla spolu se spěnkovými kostmi (Leśniak, 2013). Především Leśniakovi výsledky naznačují, že by bilaterální asymetrie mohla souviset spíše s motorickou lateralitou než pracovní náplní a plemennou příslušností. Jeho studie probíhala na koních a ponících z jezdeckých center (Leśniak, 2013). Tím byl eliminován vliv jednostranně zaměřené práce, jako je u dostihových koní, kteří často běhají závody jen po směru nebo proti směru hodinových ručiček. Pro koně s delšími kostmi napravo by mohlo být příjemnější cválat na levou ruku, při pasení stát s nakročenou pravou hrudní končetinou a mít více váhy na levé hrudní končetině. Úvahu podporuje studie, která sledovala svislosti šířky kopyta a další anatomických markerů. Pokud bylo širší kopyto levé (59 % případů), byla na pravé straně těla třetí metakarpální kost delší a loketní kloub byl výše. V případě širšího pravého kopyta nebyly výsledky tak jasné. Pozice spěnkového a ramenního kloubu byla opět výše na pravé straně, a naopak loketní kloub byl níže

vlevo. Zatím není jasné, co za rozdíly stojí (Wilson et al., 2009), je ale možné uvažovat o spojitosti s asymetrickým poklesem kohoutku, a tedy i hrudního koše, v pohybu (Byström et al., 2018).

Studie, zatím nedochází k jednotnému závěru, nakolik se motorická lateralita rozvíjí následkem interakce s člověkem. Studie ferálních koní *Equus caballus* ukazují absenci motorické laterality na populační úrovni a jen malé procento koní s preferencí na úrovni individuální, která navíc s věkem dále slábne (Austin & Rogers, 2012). U domestikovaných koní je individuální preference častější. Přesto nemusí být po narození zřejmá, nebo se projevuje jen málo (Murphy & Arkins, 2012). S věkem motorická lateralita sílí a začíná se manifestovat i u koní, kteří byli jako hříbata bez projevů (Wells & Blache, 2008). McGreevy & Rogers (2005) vidí dvě možná vysvětlení, které se vzájemně nevylučují. U koní, kteří ji v mladším věku nevykazovali, se s věkem rozvine. Alternativně se u nich motorická lateralita již objevila, ale její projev nebyl dostatečně silný, aby ji zvolený test zaznamenal.

Dnes již máme k dispozici výzkumy, které potvrzují, že přidání jezdce na hřbet koně zesiluje projev motorické laterality (Schwarz et al., 2022) a zvyšuje asymetrii pohybu (Byström et al., 2021). Byly však publikovány i studie, které odhalily zvýšení nepravidelnosti pohybu diagonál, přestože trénink probíhal bez jezdce jen pravidelným pohybováním na trenažéru (Drevemo et al., 1987). Některé práce ukazují, že se velikost asymetrie pohybu hrudníku a diagonál v klusu během prvních pár týdnů po obsednutí nezměnila (Nissen et al., 2016a). Zatímco jiné výzkumy hlásí manifestaci s jezdeckým využíváním (Wells & Blache, 2008). Zatím není zcela zřejmé, jaké faktory za zmíněnými rozdíly stojí. Mohla by to být váha jezdce (Matsuura et al., 2016), výstroj, motorická preference a tělesná asymetrie člověka (Guire et al., 2017), nebo například omezení volného pohybu hlavy a krku jezdce ve snaze udržet koně v určité pozici a rámci (Byström et al., 2021).

Cílem kvalitně vedeného tréninku by měl být kůň dobře prostupný, „progymnastikovaný“ a stejně snadno ohebný při pohybu na pravou i levou ruku. Existují studie, jejichž výsledky jsou v souladu s tímto cílem a ukazují, že se s postupujícím tréninkem „vrozená křivost“ koně snižuje (Meij & Meij, 1980), zlepšuje se symetrie pohybu diagonál (Nissen et al., 2016b) a zlepšuje se rovnováha (Greve & Dyson, 2016).

Při tréninku koně zůstáváme omezeni na vnější pozorování a pocity. Subjektivní pozorování a vizuální hodnocení je nepřesné, protože síly, které působí na kopyta a končetiny koní v pohybu nejsou pro lidské oko viditelné (Clayton et al., 2017). Práh lidské schopnosti pro detekci asymetrie pohybu je přibližně 25% rozdíl v amplitudě mezi 2 pohybujícími se předměty. Zkušenost pozorovatele přitom nehraje roli (Clayton & Sha, 2006).

Přestože je lateralita přirozenou součástí života, je potřeba ji udržovat v rozumných mezích. Obzvláště citlivou skupinou jsou mladí koně ve vývoji, u kterých by významná pohybová asymetrie mohla negativně ovlivnit vývoj svalově kosterního aparátu včetně kloubních chrupavek a šlach, protože při svém rozvoji reagují na fyzickou aktivitu, které jsou vystaveny (Brama et al., 2002). V posledních letech probíhají výzkumy, které se snaží najít jasnější hranici mezi motorickou lateralitou, přirozenou pohybovou asymetrií a bolestivým stavem provázejícím kulhání (Macaire et al., 2022).

## 4 Metodika

Původní plán sběru dat počítal se souborem 25 koní ve věku 2 – 3 let v období před obsedáním, bez předchozího systematického výcviku, bez známek kulhání a historie vážného úrazu. Podnětem pro tento požadavek byla snaha o maximální možnou eliminaci vnějších vlivů, především vlivu člověka a systematického výcviku, které by mohly výsledky měření ovlivnit.

Od tohoto požadavku bylo třeba ustoupit, neboť nízký věk koní a s ním spojená žádaná nezkušenost neumožňovala bezpečné, jednoznačně průkazné a opakovatelné testování jednotlivých hypotéz. Někteří z oslovených chovatelů mladých koní odmítli poskytnutí svých zvířat pro účely měření dat k diplomové práci z důvodů obavy o bezpečnost a zdraví koní i účastníků měření. Chovatelé se obávali především chování koní a možného zranění způsobeného separační úzkostí při odvedení jednotlivých zvířat od zbytku stáda. Jako další důvody pro odmítnutí spolupráce uváděli minimální zkušenost s manipulací a voděním na vodítku pro ověřování hypotéz H2, H3, H4a a H4b a nulovou zkušenost s prací na lonži pro testování hypotéz H5 a H6. Pro účely testování by bylo nejprve potřeba zvířata na jednotlivé manipulace, úkony a používané vybavení zvyknout.

S prosbou o poskytnutí mladých koní pro potřeby vypracování diplomové práce bylo osloveno několik chovatelů v České Republice. Mezi nimi byla Farma Hucul, aktivní stáj Mažice, hřebčín Měník, Jezdecké centrum Zduchovice, Zemský hřebčinec Písek a několik soukromých chovatelů.

Dva chovatelé s měřením v předložené podobě souhlasili. Jedním z nich byla Farma Hucul v Krkonoších, kde bylo nakonec nutné plánované listopadové měření zrušit z důvodu nevyhovujících povětrnostních a povrchových podmínek. Silná vrstva sněhu znemožnila měření. K dispozici byly pouze venkovní nekryté prostory, v rámci kterých by s ohledem na stav povrchu nebylo možné měření provádět z technických ani bezpečnostních důvodů. Dřívější termín měření nebyl možný, neboť jsme byli omezeni časovými možnostmi mistra podkováře pana Karla Kysilky, který nám pro účely měření poskytoval a obsluhoval přístroj Werkman Black. Druhou stájí byla aktivní stáj Mažice. Zde se podařilo naměřit 5 zvířat pomocí přístroje Werkman Black. Ostatní měření se kvůli zhoršujícím se podmínkám počasí neuskutečnila. Kryté prostory vhodné pro účel měření nebyly v daných zařízeních k dispozici.

Vzhledem ke komplikacím spojeným se zajištěním dostatečného množství koní v požadovaném věkovém rozmezí byla metodika přepracována. Měření proto probíhalo na koních bez věkového omezení a bez ohledu na jejich historii a pracovní využití. Předpoklad byl, že si vrozené tendence jedinec uchovává i do pozdějšího věku. Práce se zaměřila především na upravenou hypotézu H1, H2 a H7.

Měření a sběr dat prezentovaných v diplomové práci probíhal od prosince 2022 po březen 2023.

### 4.1 Testovaná zvířata

V průběhu vypracovávání diplomové práce byla získána data na 33 koních v 5 různých stájích. U všech jedinců byly sepsané informace zahrnující pohlaví, plemeno, rok narození, typ úpravy kopyt (bosý/okovaný), termín poslední úpravy kopyt, případně historie zranění



končetin, pokud byla známa. Zastoupeno bylo 19 plemen, 30 koní bylo bosých a 3 měli podkovaná přední kopyta. Úpravy kopyt provádělo celkem 12 různých lidí.

Iniciační sběr dat pomocí přístroje Werkman Black/Hoofbeat (n = 5) probíhal v aktivním ustájení Mažice. Tato data nebyla v diplomové práci v rámci statistického vyhodnocení využita. Výstupy z měření jsou popsány s ohledem na možnosti využití tohoto unikátního měřicího přístroje.

Po přepracování metodiky probíhalo hlavní měření na Ranči Jablonná (n = 18 koní), v jezdeckém klubu Míreč (n = 7), v osadě Busíny (n = 6), ve Starosedlském Hrádku (n = 1) a v Jezdeckém centru Zduchovice (n = 1). Uskutečnilo v několika termínech. Důvodem byl požadavek, aby byl interval mezi poslední úpravou kopyt a sběrem dat minimálně 4 týdny. Kopyta koním upravovalo několik profesionálů v různých termínech i v rámci jedné stáje.

#### **4.1.1 Aktivní stáj Mažice**

V rámci iniciační fáze sběru dat a testování dostupné techniky (Werkman Black) bylo provedeno měření na malé skupince koní (n = 5) v aktivním ustájení Mažice v termínu 10. 12. 2022. Jednalo se o koně ve věkovém rozmezí 2 – 3 let (rok narození 2019 – 2020). K dispozici byly 2 klisny a 3 valaši. Z pohledu plemenné příslušnosti byli 4 jedinci plemene český teplokrevník a jeden welsh part bred.

V době sběru dat znali koně jen základní manipulaci spojenou s provozem aktivní stáje a nezbytně nutnou manipulaci v rámci návštěv kováře a veterináře. Neprošli žádnou (n = 3), nebo jen minimální přípravou na obsedání v podobě chůze na vodítku a seznámení s podsedlovou dečkou a sedlem (n = 2). Ani jeden z koní neměl zkušenost s prací na lonži, nebo s jezdcem na hřbetě. Jeden z koní měl sedlo na hřebě položené třikrát, druhý šestkrát.

V rámci měření v této stáji jsme používali přístroj Werkman Black, nyní prodávaný pod jménem Hoofbeat. Další data zde nebyla měřena. Koně z této stáje se neúčastnili následných měření po úpravě metodiky.

#### **4.1.2 Ranč Jablonná**

K dispozici bylo celkem 18 koní, z toho 5 klisen, 10 valachů a 3 mladí hřebci. Rok narození mezi lety 1998 až 2020. Data byla měřena na 11 plemenech. Zastoupen byl českomoravský belgický kůň (n = 2), český teplokrevník (n = 3), irský cob (n = 2), kůň Kinský (n = 1), norický kůň (n = 2), Pura Raza Espaňola (n = 1), quarter horse (n = 1), welsh part bred (n = 1), westfálský kůň (n = 1), Zangersheide (n = 1), několik jedinců mělo v průkaze uveden jen typ teplokrevný (n = 3).

Ranč Jablonná poskytuje všem koním celoroční pastevní ustájení ve stádech rozdělených dle pohlaví. Mladí hřebci jsou na pastvinách společně s valachy. Klisny jsou odděleny do samostatných stád.

#### **4.1.3 Jezdecký klub Míreč**

K dispozici bylo 7 koní, z toho 3 klisny a 4 valaši. Rok narození se pohyboval mezi roky 1993 až 2016. Zastoupena byla plemena shagya arab (n = 1), český teplokrevník (n = 3),

anglický plnokrevník (n = 2) a jeden kůň v typu pony. Koně jsou v jezdeckém klubu Míreč ustájeni formou celoročního pastevní ustájení s přístřešky ve smíšených stádech.

#### **4.1.4 Starosedlský Hrádek**

Ve Starosedlském Hrádku byla měřena jedna klisna plemene slovenský teplokrevník, ročník narození 2014. Ustájení s celodenním pobytem venku ve výběhu s možností volného přístupu do zděné budovy.

#### **4.1.5 Jezdecké centrum Zduchovice**

V Jezdeckém centru Zduchovice byl měřen jeden valach plemene velkopolský kůň, ročník narození 2006. Ustájení boxové s dopoledním pobytem venku v malém výběhu se 2 dalšími valachy.

#### **4.1.6 Osada Busíny**

U soukromého majitele v osadě Busíny proběhlo měření 6 koní. Jednalo se o 3 valachy a 3 klisny. Rok narození se pohyboval mezi roky 2006 až 2013. Zastoupena byla plemena český teplokrevník (n = 2), slovenský teplokrevník (n = 1), hannoverský kůň (n = 1), holštýnský kůň (n = 1) a jeden kůň plemene Pura Raza Española.

Koně jsou ustájeni formou trekového systému s přístupem na pastviny. Vstup na jednotlivé pastviny je limitovaný a liší se v závislosti na ročním období. Jako úkryt před nepřízní počasí slouží velké a prostorné přístřešky se zpevněnou podlahou a příkrmištěm na seno.

## **4.2 Sběr dat**

### **4.2.1 Měření přístrojem Werkman Black**

Původní metodika plánovala s použitím přístroje Werkman Black, nyní přejmenovaný na Hoofbeat. Jedná se o snímače pohybu, které se umísťují na kopytní stěnu. Umožňují detailně mapovat a analyzovat pohyb koně v kroku a klusu. Přístroj rozlišuje jednotlivé fáze krokového cyklu (došlap, střední stojná fáze, překlop, letová fáze), délku trvání jednotlivých fází, trajektorii a rychlost pohybu. Podává informaci o relativní stojné fázi pro jednotlivá kopyta i celkovou dobu krokového cyklu. Zároveň měří i úhel dorzální kopytní stěny u kopyt hrudních končetin. Výstupy zahrnují také 3D animaci pohybu kopyta a detailní vizuální prezentaci průběhu a místa došlapu, stojné fáze i překlopu jednotlivých kopyt. Zahrnuje i porovnání symetrie pohybu kopyt. Z každého měření přístroj vygeneruje 15stránkovou zprávu zpracovanou formou přehledných tabulek s vizuální prezentací výsledků. Jedinou nevýhodou je, že není možné stáhnout i video animace. Senzory je možné umístit na kopyta hrudních i pánevních končetin dle požadavků měření (<https://www.Hoofbeat.nl>).

S žádostí o poskytnutí přístroje pro získání dat pro diplomovou práci byl osloven mistr podkovář, pan Karel Kysilka. Nejprve jsme se domluvili na předvedení přístroje, jeho použití a funkcí. Demonstrace proběhla 14. 10. 2022 ve stáji Vasury Kolesa. Kvůli nepříznivému počasí se nepodařilo uskutečnit plánované měření koní na farmě Hucul, které mělo probíhat

během listopadu. První měření dat pro účely diplomové práce se tak uskutečnilo až v aktivní stáji Mažice 10. 12. 2022, kde jsme měřili 5 mladých koní ve věku 2 – 3 roky. Dřívější termín se vzhledem k velké pracovní vytíženosti s panem Kysilkou nepodařilo vyjednat.

### ***Průběh měření***

Nejprve bylo potřeba kopytní stěny důkladně očistit a osušit. Den před plánovaným sběrem dat vydatně nasněžilo a sníh začal postupně tát. Úprava kopyt probíhala na suché betonové ploše. Po očištění hrubých nečistot byla kopyta nejprve vysušena fénem. V dalším kroku byla kopytní stěna lehce obroušena jemným brusným papírem v místě, kam se následně připevňoval senzor s pomocí speciálního samolepícího suchého zipu. Zbroušení kopytní stěny zlepšovalo přilnavost samolepící strany suchého zipu a zaručovalo lepší stabilizaci senzoru na místě. Součástí přípravy kopytní stěny bylo i odmaštění technickým lihem. Senzor byl přes suchý zip uchycen na kopyta. U hrudních končetin byly umístěny ve středu dorzální kopytní stěny, u kopyt pánevních končetin byly umístěny na laterální straně kopyta (**Obrázek 5**). Následně došlo k aktivaci senzorů přes ovladač.

Pro účely diplomové práce stačilo naměřit pohyb v kroku. Koně jsme nakonec prováděli i klusem pro získání kompletního setu dat o každém jedinci. Pomocník koně nejprve vedl v kroku po rovné linii zakončené mírnou zatáčkou, kde se s koněm otočil a poté se klusem vraceli zpět. Povrch představovala pevná, udusaná hliněná cesta a nádvoří. Všechny koně prováděla jedna osoba, kterou koně dobře znali.

Kůň byl vybaven svou obvyklou stájovou ohlávkou a byl veden standardním způsobem z levého boku. Měření se u každého koně provádělo pouze jednou. Informace ze senzorů byly po ukončení měření ihned přeneseny do tabletu přístroje, který následně data okamžitě vyhodnotil a odeslal na server. Na obrazovce bylo možné sledovat i animaci průběhu pohybu. Mezi každým měřením byly senzory s ovladačem uloženy do přepravního kufříku, kde se nabíjely. Samotné měření v pohybu trvalo přibližně 1 minutu.



**Obrázek 5:** Sběr dat přístrojem Werkman Black/Hoofbeat v aktivním ustájení Mažice. Na snímku je zachycen mladý kůň se senzory na kopytech, kterého během měření prováděla Mgr. Ing. Anna Baštýřová Brutovská (na snímku vpravo).

V průběhu měření vypadl elektrický proud a ukázalo se, že baterie v senzorech a ovladači není schopna zvládnout více než dvě měření. Kopyta jsme se pokoušeli vysušit starými hadry. Samolepící suchý zip bylo snadnější odlepit z kopytní stěny, ale senzor udržel dostatečně dlouhou dobu, aby mohlo být měření koně dokončeno. Naštěstí byl přívod proudu obnoven a měření jsme dokončili.

Již v průběhu přípravy kopyt na aplikaci senzorů se začala projevovat nervozita mladých koní z neznámé procedury. Nejhůře snášeli sušení kopyt za pomoci fénu. Přestože se jednalo o velice tichý typ, byli z něj nervózní. Někteří se snažili odcházet. Jednoho koně bylo obtížné udržet na místě. Pro některé jedince bylo náročné odvedení od stáda a vrstevníků. Zaregistrovali jsme projevy separační úzkosti. S ohledem na welfare a bezpečnost všech zúčastněných proto bylo rozhodnuto najít alternativní řešení pro měření dat.

Získaná data jsme od pana Kysilky obdrželi elektronickou poštou formou odkazu ke stažení.

#### 4.2.2 Měření úhlů dorzální kopytní stěny

Měření úhlu dorzální kopytní stěny probíhalo pomocí digitálního úhloměru značky ELV. Tento digitální úhloměr umožňuje měření úhlů s přesností na 0,1 stupně. V době měření byl interval od poslední korektury kopyt minimálně 4 týdny. Snahou bylo minimalizovat možné artefakty způsobené čerstvým zásahem kováře do tvaru kopytního pouzdra. Interval pravidelných kopytních úprav se u sledovaných koní pohyboval v klasickém intervalu 4 – 8 týdnů. Měření proto bylo směřované těsně před plánovaný termín další úpravy.

##### *Průběh měření*

Úhloměr byl přiložen do středu dorzální kopytní stěny do poloviny její výšky. Veškerá měření prováděla jedna osoba. Studie, která se zabývala přesností měření kopytních úhloměrů, poukázala na odchylky v měření, které vznikají, pokud měření provádějí různé osoby, přestože měří stejné kopyto na základně shodných instrukcí (Moleman et al., 2005).



**Obrázek 6:** Demonstrace měření digitálním úhloměrem ELV

Sběr dat probíhal na rovné a tvrdé ploše – betonová podlaha, asfaltová cesta, zpevněná plocha před stájí, vydlážděné prostory u stáje. Úhloměr byl nejprve vynulován vůči ploše, na které se měřilo, a následně byl přiložen ke kopytu (**Obrázek 6**). S výjimkou jednoho jedince byla u každého koně obě kopyta hrudních končetin změřena v pěti opakováních. Jeden z koní

byl při měření natolik neklidný, že byla s ohledem na bezpečnost všech zúčastněných provedena pouze dvě opakování pro každé z kopyt.

Pomocník měl za úkol koně postavit tak, aby byly hrudní končetiny vedle sebe, rovnoměrně zatížené a kolmo vůči zemi. Tohoto požadavku nebylo možno vždy dosáhnout, neboť někteří jedinci měli tendenci opakovaně stát s končetinami lehce zakročenými nebo překročenými. Snaha je postavit rovně vedla u některých koní k nadměrné agitaci, což následně znesnadňovalo změření dat a bezpečnost celého procesu.

Pro pár koní bylo obtížné stát během měření klidně a nehybně s rovnoměrně zatíženými kopyty. Měli tendenci přešlapovat. U takových jedinců bylo vynulování úhloměru prováděno s ohledem na bezpečnost ve větší vzdálenosti od kopyta. Tento fakt spolu s tím, jak se koně „ošívali“, může být zdrojem nepřesností v naměřených hodnotách.

První měření na ranči Jablonná probíhalo v termínu 27. 12. 2022, druhé 2. 1. 2023 a třetí 13. 2. 2023. V jezdeckém klubu Míreč se měřilo ve dvou termínech, 10. 1. 2023 a 24. 2. 2023. Sběr dat ve Starosedlském Hrádku byl naplánovaný na termín 7. 1. 2023. V poslední zmiňované stáji, jezdeckém centru Zduchovice, byla návštěva v kalendáři naplánována na 15. 2. 2023.

#### 4.2.3 Měření preference pozice hrudních končetin při krmení

Všichni koně ( $n = 33$ ) byli autorkou diplomové práce pozorováni a natáčeni při krmení po dobu 10 min. Dvanáct koní bylo natáčeno 5 dní za sebou pro ověření směru a síly motorické preference. Zbývajících 21 koní bylo natáčeno jednou. Harmonogramy a pracovní náplň jednotlivých a koní a jejich majitelů neumožnila opakovat natáčení u všech 33 jedinců.

##### *Průběh měření*

Krmení probíhalo v závislosti na jednotlivých stájích v observační ohradce, na jízdně nebo na volném prostranství u stáje. Koně prostory dobře znali. Ke konzumaci bylo koním předkládáno jejich obvyklé koncentrované krmivo, do kterého byla dle potřeby přimíchána řezanka pro zvýšení celkového objemu krmiva. Množství krmiva bylo zvoleno s ohledem na požadovaný čas konzumace minimálně 10 min.

Koně byli při krmení natáčeni mobilním telefonem iPhone 13 Pro Max uchyceném pomocí podstavce PIVO pod na stativu. Kamera byla postavena paralelně s tělem koně na úrovni ramenního hrbolu. Vzdálenost mezi kamerou a koněm byla 2 – 3 metry (**Obrázek 7**).



**Obrázek 7:** Natáčení video záznamu v observační ohradce na ranči Jablonná. Snímek zachycuje prostorové uspořádání a technické vybavení experimentu.

Pomocník přivedl koně do místa natáčení, postavil koně čelem ke kbelíku s krmivem a na pokyn kameramana koně vypustil. Kůň přicházel ke kbelíku z různých vzdáleností (minimum 5 m) na volno bez omezení člověkem. Začátek časového limitu 10 min byl označen zakousnutím koně do prvního sousta. Kameraman koně po celou dobu sledoval, pokud se kůň s kbelíkem posunul, nebo se kolem kbelíku točil, byla pozice kamery neprodleně upravena tak, aby byla i nadále paralelně s tělem koně a na úrovni ramenního hrbolu.

Před prvním natáčením byly zároveň u každého koně změřeny i úhly dorzální kopytní stěny. První měření na ranči Jablonná probíhalo v termínu 27. – 31. 12. 2022. První den bylo sledováno 13 koní. Následující 4 dny pokračovalo pozorování u 10 jedinců. Druhá série pozorování, které se účastnili 2 koně, proběhla 2. 1. 2023. Poslední měření zde probíhalo v období 13. – 17. 2. 2023. Opět se sledovali 2 jedinci po dobu 5 dní. Natáčení video záznamu postoje při předložení krmiva probíhalo s ohledem na chod ranče v odpoledních hodinách.

V jezdeckém klubu Míreč byli všichni koně natáčení při krmení pouze jednou v termínech 10. 1. a 24. 2. 2023. Ve Starosedlském Hrádku byl opět pořizován jen jeden záznam 7. 1. 2023. V jezdeckém centru Zduchovice byl sledován jeden kůň 15. 2. 2023.

#### **4.2.4 Měření kamašemi Ekico Tendiboots**

K měření rozdílného zatížení hrudních končetin, doby trvání střední stojné fáze (mid-stance), délky kroku a sil, které na hrudní končetiny koně v pohybu působí, byly použity kamaše značky Ekico s inerciální měřicí jednotkou (IMU). Jednalo se o model z roku 2020. Kamaše Ekico Tendiboots jsou skořepinové šlachové kamaše s bajonetovým zapínáním vyráběné firmou Veredus, ve kterých je umístěna IMU jednotka.

Získali jsme data od 23 koní. Z 33 koní, které jsme měli v rámci vypracovávání této diplomové práce k dispozici, byly kamaše použity u 24 koní. U zbývajících jedinců nebylo možné kamaše použít, protože byly moc malé ( $n = 4$ ), moc velké ( $n = 1$ ), jeden kůň kamaše nesnesl a u dvou koní nebylo možné kamaše použít kvůli hustým a dlouhým rousům, které rušily přenos signálu do kamašů a výrobce proto jejich využití u rousnatých koní nedoporučuje. Jeden kůň byl z měření s kamašemi vyřazen z důvodů kulhání, které bylo diagnostikováno veterinárním lékařem. Z naměřených 24 koní jsme byli nuceni jednoho jedince vyloučit ze zdravotních důvodů, které by mohly negativně zkreslit výsledky měření.

#### ***Průběh měření***

Všechna měření probíhala na měkkém povrchu. Na Ranči Jablonná se koně prováděli po pískové jízdárně bez příměsi textilie ( $n = 12$ ), v osadě Busíny po textilním povrchu bez písku HS Ground ( $n = 6$ ). V jezdeckém klubu Míreč se měřilo na travnaté jízdárně ( $n = 5$ ). Linie na vodění koní byly zvoleny tak, aby byl povrch nerozblácený a konzistentní po celé délce měření. V ideálním případě by bylo vhodné měření provádět na tvrdém povrchu typu asfalt nebo beton. Zajistilo by to jednotné podmínky měření pro všechny koně. V jedné ze stájí tato možnost nebyla, proto byla zvolena varianta provedení všech koní po měkkém povrchu. Nastavení parametrů kamašů tomu bylo uzpůsobeno. Při výběru povrchu hrála roli i otázka nebezpečnosti provádění koní po silnici pro motorová vozidla. Sběr dat vycházel z předpokladu, že odlišné parametry jednotlivých povrchů vždy ovlivní obě hrudní končetiny stejným způsobem.

Končetiny koně byly nejprve očištěny. Páskovým metrem byl změřen obvod holeně a číselné údaje byly zadány do aplikace v mobilním telefonu. Dva z měřených koní měli odlišný obvod holeně na pravé a levé hrudní končetině. Údaje byly zadány do kamaší, aby s odchylkou počítaly při analýze dat. Pomocník koně vedl po rovné linii v kroku (**Obrázek 8**). Kamaše měřily data po dobu 12 vteřin. Měření začalo ve chvíli, kdy koně kráčeli pravidelným krokem vpřed. Vodič byl poučen, aby koně v pohybu nijak neomezoval ani neovlivňoval. Každému koni byl dán dostatečný čas na aklimatizaci na kamaše před samotným měřením. Koně byli střídavě vedeni z pravého a levého boku, aby byl eliminovaný případný vliv člověka a jeho motorické laterality na způsob, jakým kůň kráčí a zatěžuje jednotlivé končetiny.



**Obrázek 8:** Pomocník vede koně po rovné linii z pravého boku při sběru dat pomocí kamaší Ekico Tendiboosts. Na snímku Julie Jarolímková, která dává pozor, aby kráčela dostatečně dlouhým krokem s volným vodítkem, aby koně v pohybu neomezovala a neovlivňovala.

U každého koně bylo provedeno 6 měření. Data byla ihned bezdrátově přenášena z kamaší přímo do aplikace v mobilním telefonu pomocí mobilní datové sítě. V jezdeckém klubu Míreč byl špatný datový signál, což vyústilo v potíže s přenosem dat z kamaší do mobilní aplikace. Nepodařená měření byla ze statistického vyhodnocení vyloučena. Během měření byli koně vybaveni svou obvyklou stájovou ohlávkou, provazovou ohlávkou nebo korektně zapnutým celokoženým obnoskem pro práci ze země.

Na ranči Jablonná probíhalo u většiny koní měření pomocí kamaší Ekico Tendiboosts 22. 2. 2023. Dva koně byli z technických o osobních důvodů majitele měření 3. 3. 2023. Opět byl splněn požadavek na dodržení intervalu mezi sběrem dat a poslední úpravou kopyt alespoň 4 týdny. V osadě Busíny probíhalo měření 23. 2. 2023. V jezdeckém centru Míreč se měření uskutečnilo u všech jedinců v termínu 24. 2. 2023. Koně ze Starosedlského Hrádku a jezdeckého centra Zduchovice nemohli být do měření zahrnuti.

## 4.3 Analýza dat

Ke statistickému vyhodnocení v program SAS System (verze 9.4, SAS Institute Inc. Cary, USA.) bylo potřeba nejprve naměřená data převést do vhodného formátu a podoby. Po jejich přepsání a úpravě v programu Microsoft Excel byla provedena explorační analýza dat ke zhodnocení a zjištění četnosti a rozložení jednotlivých proměnných (PROC UNIVARIATE, SAS) a zjištění vzájemných korelací (Spearmanův korelační koeficient, PROC CORR, SAS). Vztahy mezi kategoričnými proměnnými byly posuzovány vhodným typem chí-kvadrát testu (PROC FREQ, SAS). Souvislosti mezi proměnnými byly posléze testovány vesměs lineárními modely odpovídajícího typu v proceduře GLIMMIX (SAS).

K analýze byla použita pouze data jedinců, kteří v době měření nevykazovali známky onemocnění nebo kulhání. Průzkumné analýzy neprokázaly vliv věku, ani doby uplynulé od posledního termínu úpravy kopyt na naměřená data. Mírná, statisticky neprůkazná tendence se projevovala u klisen, a to k tupouhlejšímu kopytu na PP a stání s pravou hrudní končetinou hlouběji pod tělem. Efekt pohlaví tedy nelze zcela vyloučit, ale tyto rozdíly nebyly předmětem studia diplomové práce a k podrobnější analýze by bylo třeba více koní a jinak strukturovat pořizovaný dataset. Předkládaná práce zahrnovala 12 klisen, 18 valachů a 3 hřebce.

### 4.3.1 Analýza měření úhlů kopyt

Na základě rozdílů úhlu pravého a levého kopyta HK jsme koně ( $n = 33$ ) kategorizovali na koně s pravidelnými nebo nepravidelnými kopyty. Dělicím kritériem byl rozdíl mezi úhly dorzálních stěn kopyt hrudních končetin o velikosti 1,5 stupně (Hobbs et al., 2018b). Koně s nepravidelnými kopyty jsme dále rozlišovali podle toho, na které končetině měl jedinec kopyto s větším úhlem, tedy tupouhlejší (**Tabulka 1**).

**Tabulka 1:** Počet koní s pravidelnými a nepravidelnými kopyty (LP = větší úhel na levé hrudní končetině, PP = na pravé hrudní končetině)

Pravidelná	Nepravidelná	
	LP	PP
14	19	
	5	14

### 4.3.2 Analýza měření preference pozice hrudních končetin při krmení

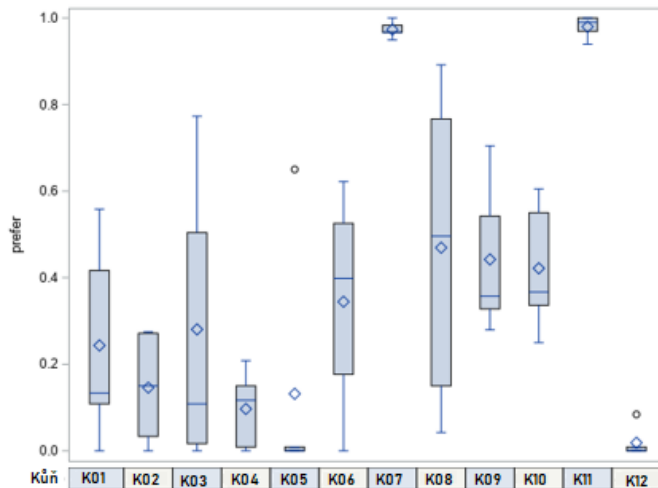
Celkem bylo pořizeno 81 video záznamů, které byly manuálně vyhodnoceny za pomoci přehrávacího programu přímo v mobilním telefonu, alternativně v programu Windows Media Player na stolním počítači. V intervalu 5 sekund byl zapisován postoj koně. Při vyhodnocování vzdálenosti mezi kopyty při rozkročeném postavení hrudních končetin jsme vycházeli z postupu ze studie van Heel (2006). V případě, že stál jedinec s hrudními končetinami rozkročenými na vzdálenost menší, než by byla vzdálenost odpovídající délce jeho dvou imaginárních kopyt u hrudních končetin, považovalo se, že stojí s kopyty u sebe, tedy **snožmo** (SS). Pokud byla vzdálenost větší, pak stál **roznožmo** a byla zaznamenána pozice končetiny, která byla zakročena hlouběji pod tělem. Pro pravou hrudní končetinu byla použita zkratka PP,



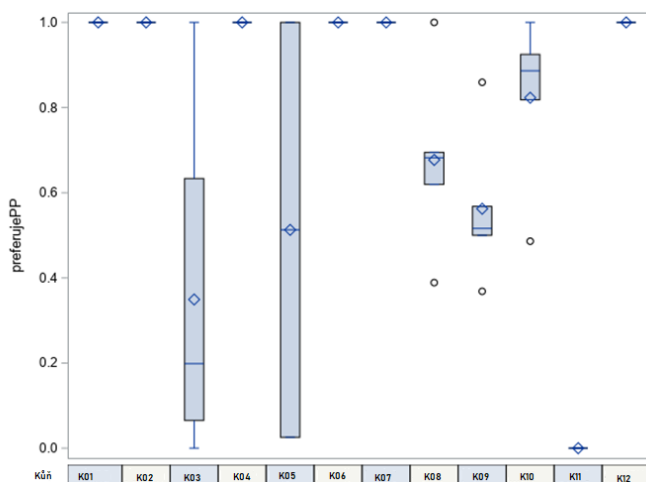
pro levou hrudní končetinu byla zaznamenána zkratka LP. V některých případech stál kůň ve chvíli zaznamenávání postoje jen na jedné hrudní končetině (hrabání, přešlápnutí). V takovém případě bylo poznačeno, na které končetině stál. Zkratka SP zastupovala „stojí na pravé hrudní končetině“, zkratka SL „stojí na levé hrudní končetině“. Z každého jednotlivého měření bylo získáno 120 záznamů. Měření, při kterých nestála obě kopyta na zemi, jsme před statistickým vyhodnocením ze souboru dat vyloučili.

Pro zařazení do kategorie snožmo musel kůň stát s hrudními končetinami u sebe více než 33 % sledovaného času. Vybraný podíl vycházel z předpokladu možnosti výběru ze tří variant (stojí snožmo, PP pod tělem, LP pod tělem), a byl potvrzen i vizuální inspekcí dat. Pro účely analýzy bylo použito jedno (první) měření pro každého z koní. Kde to bylo možné (12 koní), proběhlo měření opakovaně v 5 po sobě jdoucích dnech pro kontrolu přesnosti zvolené metody. **Grafy 1 a 2** ukazují velkou variabilitu měření u některých koní.

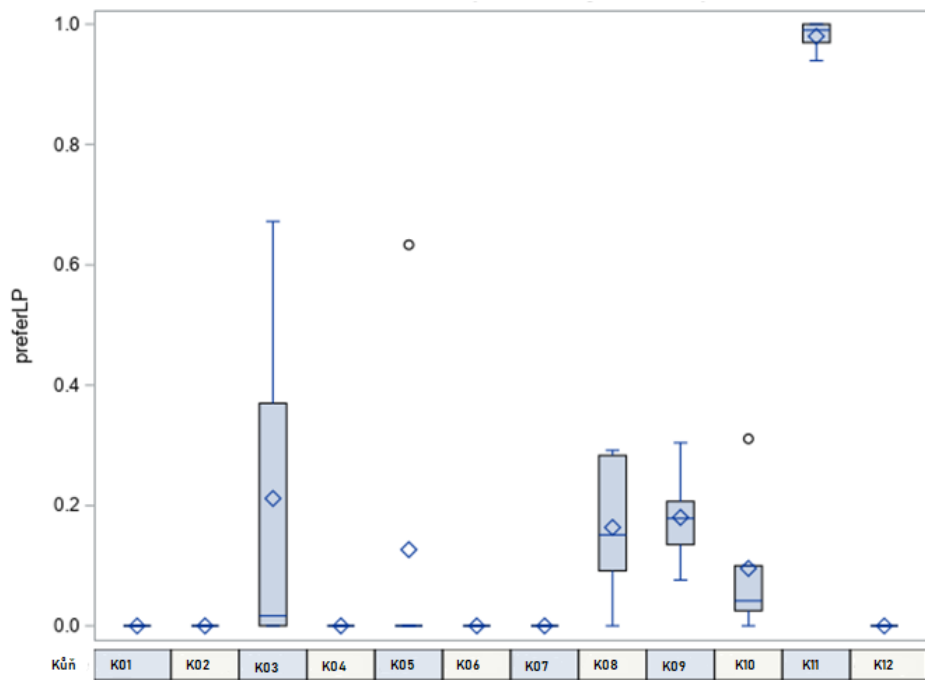
**Grafy 3 a 4** ukazují podíl z celkového času pozorování s ohledem na to, kterou hrudní končetinu měl kůň hlouběji pod tělem. Někteří koně stáli většinu pozorovaného času v rozkročené pozici a neměnili při tom pozici končetin, u jiných bylo rozpětí široké.



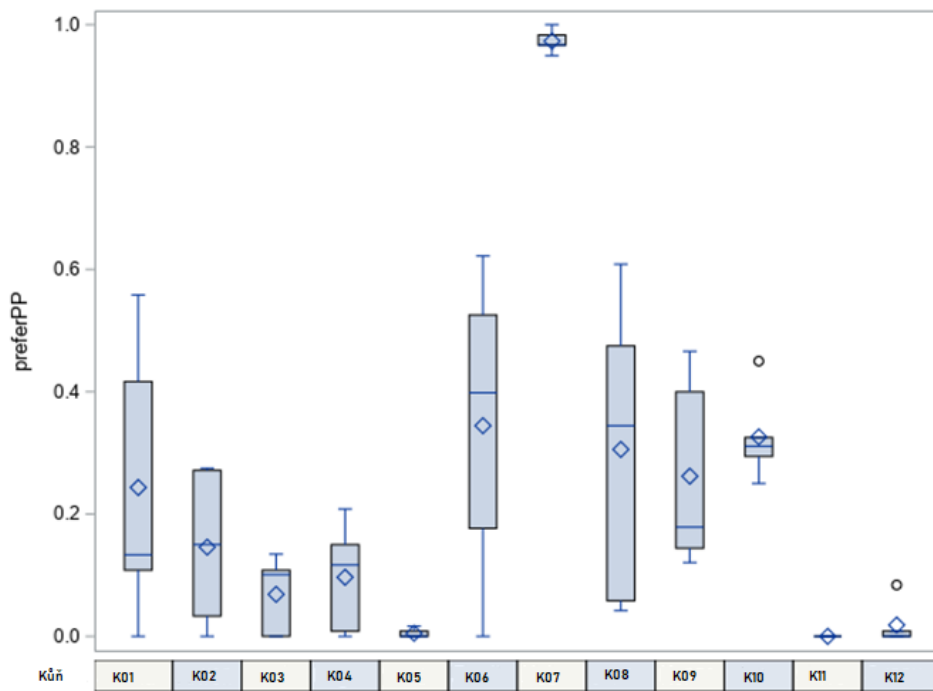
**Graf 1:** Podíl rozkročených postojů z celkové doby stání („prefer“) u 5 měření každého z koní (N = 12)



**Graf 2:** Podíl stání s pravou hrudní končetinou hlouběji pod tělem z celkového času rozkročených stání („preferujePP“; doplněk do 1,0 tvoří podíl stání s levou hrudní končetinou hlouběji pod tělem)



**Graf 3:** Podíl z celkového času pozorování, kdy kůň stál s levou hrudní končetinou zakročenou hlouběji pod tělem („preferLP“)

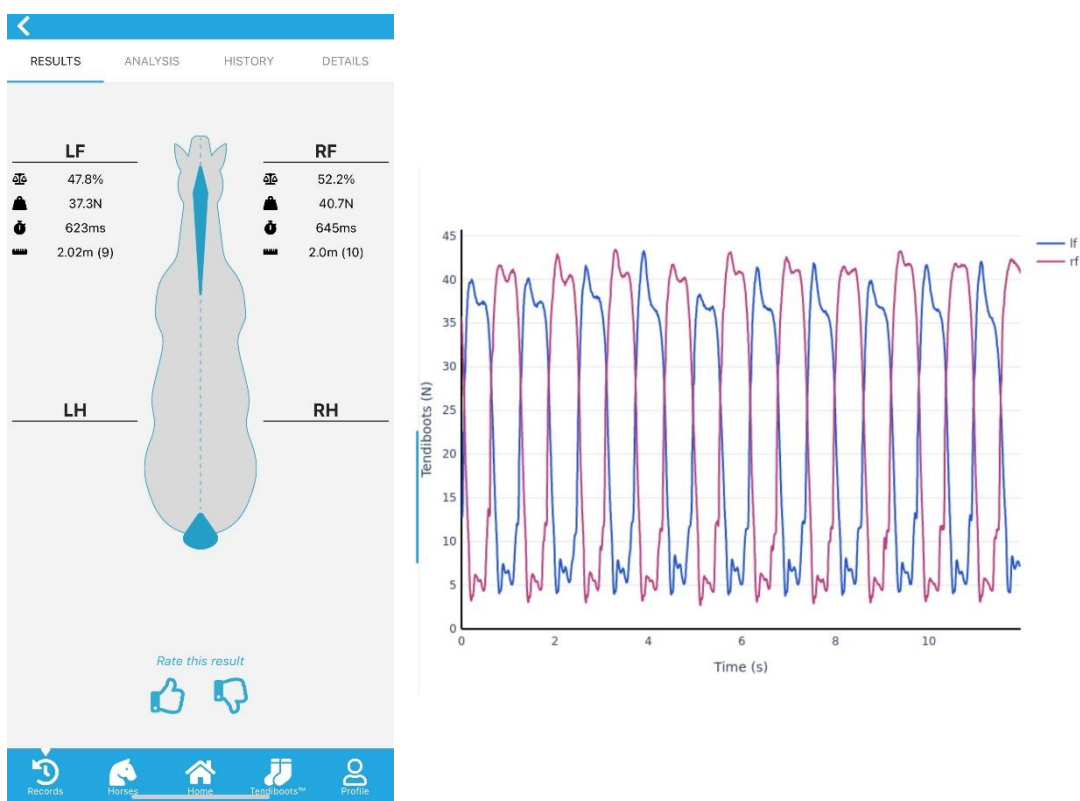


**Graf 4:** Podíl z celkového času pozorování, kdy kůň stál s pravou hrudní končetinou zakročenou hlouběji pod tělem („preferPP“)

### 4.3.3 Analýza měření pomocí kamaší Ekico Tendiboots

Z naměřených 24 koní jsme zpracovávali data od 23 jedinců. Jeden z koní musel být ze souboru vyloučen, protože vykazoval známky onemocnění. Získaná měření byla nejprve manuálně přepsána z aplikace (**Obrázek 9**) do předpřipravené tabulky v programu Excel. Ze statistického vyhodnocení byla vyloučeny záznamy, u kterých bylo podezření na chybovost způsobenou technickými potížemi při přenosu dat. Data prošla kontrolou a úpravou pro zpracování ve statistickém programu. Ze získaných 144 měření postoupilo do analytické části 134 záznamů.

Nejprve jsme ověřili, zda vedení koně z pravého nebo levého boku ovlivnilo naměřené hodnoty. Rozdílné strany, ze kterých byl kůň veden, neměly statisticky významný vliv.



**Obrázek 9:** Ukázka výstupu z Ekico Tendiboots.

Vlevo hlavní výstup s hodnotami rozložení váhy, vertikální síly v Newtonech, délky trvání střední stojné fáze a délky kroku v metrech. Číslo v závorce u poslední hodnoty udává počet měřených kroků.

Vpravo grafické znázornění pravidelnosti kroků pravé a levé hrudní končetiny. Na ose x je čas v sekundách, na ose y je síla v Newtonech. Modrá linka reprezentuje levou končetinu, červená linka pravou.

**Tabulka 2:** Souhrnný přehled podmínek pro rozdělení do jednotlivých kategorií

<b>Kategorizace typu postoje</b>					
<b>snožmo</b>	<b>rozkročený</b>				
vzdálenost rozkročení < 2 kopyta	vzdálenost rozkročení ≥ 2 kopyta				
<b>Kategorizace volby postoje</b>					
<b>snožmo</b>	<b>rozkročený</b>				
podíl stání ≥ 33 %	podíl stání ≥ 67 %				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th><b>preferance LP</b></th> <th><b>preferance PP</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>zakročena LP &gt; 60 % času</td> <td>zakročena LP &lt; 40 % času</td> </tr> </tbody> </table>	<b>preferance LP</b>	<b>preferance PP</b>	zakročena LP > 60 % času	zakročena LP < 40 % času
<b>preferance LP</b>	<b>preferance PP</b>				
zakročena LP > 60 % času	zakročena LP < 40 % času				
<b>Kategorizace kopyt</b>					
<b>pravidelná</b>	<b>nepravidelná</b>				
úhel dorzální kopytní stěny < 1,5 stupně	úhel dorzální kopytní stěny ≥ 1,5 stupně				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th><b>větší úhel LP</b></th> <th><b>větší úhel PP</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LP &gt; PP</td> <td>LP &lt; PP</td> </tr> </tbody> </table>	<b>větší úhel LP</b>	<b>větší úhel PP</b>	LP > PP	LP < PP
<b>větší úhel LP</b>	<b>větší úhel PP</b>				
LP > PP	LP < PP				
<b>Kategorizace váha</b>					
<b>váha vlevo</b>	<b>váha vpravo</b>				
více než 50 % vlevo	více než 50 % vpravo				
<b>Kategorizace kroku</b>					
<b>delší levá</b>	<b>delší pravá</b>				
délka kroku levá > délka kroku pravá	délka kroku levá < délka kroku pravá				
<b>Kategorizace trvání střední stojné fáze</b>					
<b>delší doba levá</b>	<b>delší doba pravá</b>				
doba trvání levá > doba trvání pravá	doba trvání levá < doba trvání pravá				
<b>Kategorizace síly</b>					
<b>větší síla levá</b>	<b>větší síla pravá</b>				
síla v N levá > síla v N pravá	síla v N levá < síla v N pravá				

## 5 Výsledky

### 5.1 Výsledky úhlů dorzální kopytní stěny

Nejprve jsme provedli korelaci úhlů kopyt na LP a PP a rozdílů mezi úhly obou kopyt. Zjistili jsme, že čím větší je úhel na PP, tím větší je zároveň i úhel na LP ( $r_s = 0,76$ ,  $P < 0,0001$ ,  $N = 33$ , Spearmanův korelační koeficient, PROC CORR, SAS). Z výsledků tedy vyplývá, že mají kopyta tendenci se vzájemně podobat. Pokud je tedy například PP kopyto tupoúhlé, tíhne k vyššímu úhlu i kopytní stěna LP kopyta.

Čím větší byl úhel na PP, tím větší byl také rozdíl vůči úhlu LP ( $r_s = -0,40$ ,  $P < 0,03$ ). Jinými slovy se vzrůstajícím úhlem kopyta na pravé hrudní končetině se prohlubuje rozdíl mezi kopyty a zvyšuje se jejich vzájemná asymetrie.

Jiná situace nastala ve chvíli, kdy byl větší úhel na LP. V takovém případě byl rozdíl mezi kopyty menší a asymetrie kopyt nebyla natolik výrazná. Tyto výsledky lze zřejmě porovnat s člověkem, kde se ukazuje, že levorucí lidé vykazují menší hemisférickou i tělesnou lateralizaci a menší sílu preference pro lateralizované chování (Gonzalez et al., 2007; Helmich et al., 2022; Incel et al., 2002; Petersen et al., 1989; Solodkin et al., 2001).

- Úhel LP byl naměřen v rozsahu 40,90 až 55,48 stupně, průměrně  $49,85 \pm 3,51$  stupně (průměr  $\pm$  směrodatná odchylka).
- Úhel PP se pohyboval v rozmezí 42,06 až 64,22 stupně, průměrně  $50,87 \pm 4,20$  stupně.
- Rozdíl byl v rozpětí -11,70 až 4,43 stupně, průměrně  $-1,01 \pm 2,98$  stupně.

Jeden z měřených koní vykazoval oproti ostatním výraznou asymetrii kopyt, což vedlo ke zvýšení průměrného rozdílu. Uvažovali jsme proto o jeho vyloučení ze souboru analyzovaných dat. V případě, že bychom jej vyloučili, byl by průměrný rozdíl jen  $-0,68 \pm 2,32$  stupně. Nakonec jsme jej ale v souboru ponechali a pro analýzu dat použili Spearmanův korelační koeficient, tedy neparametrický test, který počítá s pořadím hodnot, nikoli vzdálenostmi mezi nimi.

## 5.2 Výsledky preference pozice hrudních končetin při krmení

U 33 sledovaných koní jich 16 (48,48 %) preferovalo stát snožmo a 17 (51,52 %) dávalo přednost stání rozkročmo. Z 16 koní, kteří stáli častěji rozkročeni, jich 9 upřednostňovalo nechávat hlouběji pod tělem levou a 8 raději pravou (**Tabulka 3**). Rozdělení koní, kteří mají a nemají preferenci k rozkročenému stání je stejné. Zastoupení preference pro pravou a levou hrudní končetinu je také rovnoměrné. Na populační úrovni se neobjevuje významná motorická preference.

Koně s rozdílnými úhly kopyt stáli častěji rozkročeni ( $X^2_{(1)} = 8,55$ ,  $P < 0,05$ ,  $N = 33$ ), zatímco koně s pravidelnými kopyty stáli častěji snožmo. Zohlednění směru rozdílu ukazuje **Tabulka 3**. Koně, kteří dávali raději pravou hrudní končetinu více pod tělo, měli častěji pravidelná kopyta, případně měli kopyta s větším úhlem na PP.

**Tabulka 3:** Souvislosti mezi preferovanou volbou postoje a úhly u kopyt ( $X^2_{(4)} = 10,53$ ,  $P < 0,05$ ,  $N = 33$  koní)

ÚHLY KOPYT	VOLBA POSTOJE (počty koní)			
	preferuje LP	preferuje PP	snožmo	celkem
větší úhel LP	4	1	0	5
pravidelná	2	1	11	14
větší úhel PP	3	6	5	14
celkem	9	8	16	33

### Souvislosti úhlu dorzální kopytní stěny a postoje při krmení (Tabulka 3):

- Koně s větším úhlem kopyta u LP preferovali stát s levou hrudní končetinou hlouběji pod tělem v 80 % (ovšem větší úhel na LP mělo jen 5 koní).
- Koně s pravidelnými kopyty stáli většinou snožmo (78,57 %).
- Koně s větším úhlem kopyta na PP stáli buď snožmo (42,86 %), nebo preferovali stání s pravou hrudní končetinou (35,71 %) hlouběji pod tělem, zatímco nejméně často zatěžovali LP.

### Souvislosti preference postoje a úhlu kopytní dorzální stěny (Tabulka 3):

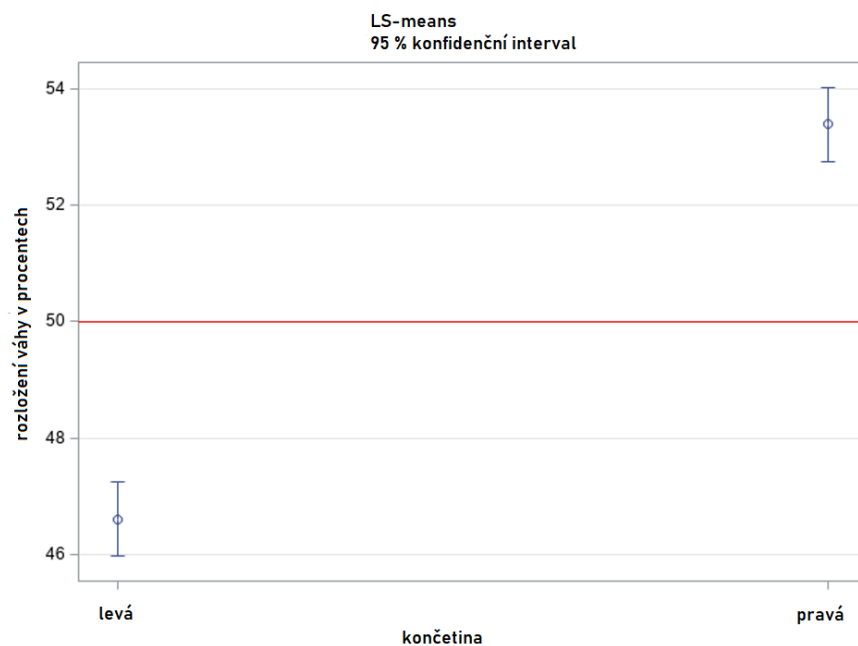
- Koně, kteří preferovali stát s PP hlouběji pod tělem, měli v 75 % případů větší úhel kopyta na PP.
- Koně, kteří preferovali stát s LP hlouběji pod tělem, měli ve 44,44 % větší úhel kopyta na LP, ve 33,33 % měli větší úhel kopyta na PP a ve 22,22 % měli kopyta pravidelná.
- Koně, kteří stáli nejraději snožmo, měli pravidelná kopyta v 68,75 % případů. V menším procentu případů (31,25 %) měli větší úhel kopyta na PP. V této kategorii se nevyskytoval žádný kůň s větším úhlem kopyta na LP.

### 5.3 Výsledky dat z kamaší Ekico Tendiboots

Do analýzy vstupovalo 133 záznamů naměřených na 23 koních.

#### 5.3.1 Rozdělení váhy mezi hrudními končetinami

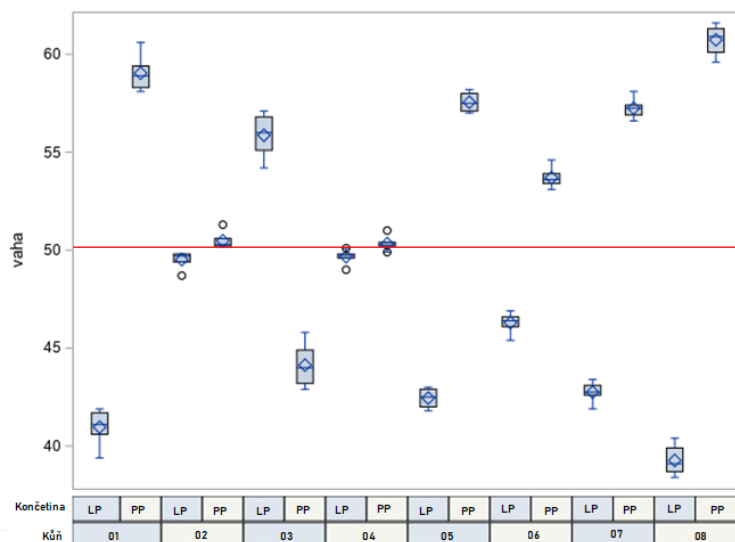
V průměru byl rozdíl rozložení váhy mezi hrudními končetinami  $-6,76 \pm 7,72$  procenta,  $N = 133$ ). Záporná hodnota znamená, že byla váha více na pravé hrudní končetině. Rozložení znázorněno níže (**Graf 5**).



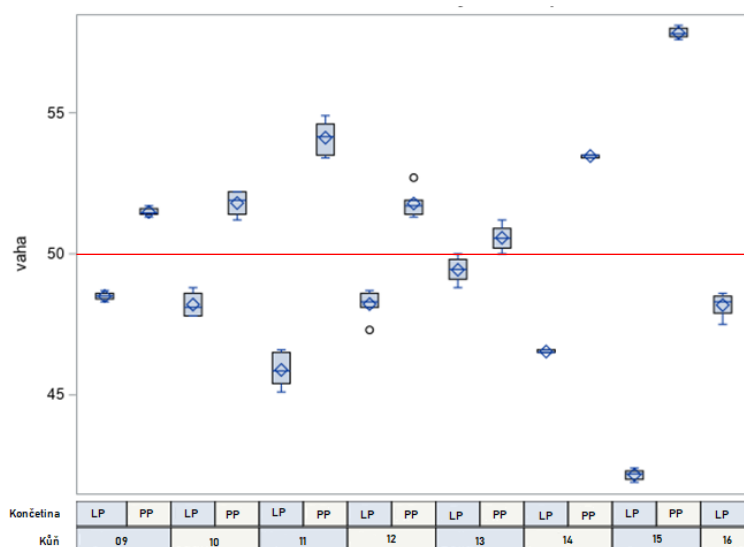
**Graf 5:** Průměrná distribuce váhy mezi končetinami (obecný lineární model, PROC GLIMMIX, SAS). Červenou linií je označena hodnota 50 %, tj. rovnoměrné rozložení váhy mezi pravou a levou hrudní končetinu. Hodnota nad červenou linií znamená, že více váhy nese pravá hrudní končetina. Hodnota pod červenou linií ukazuje, že méně váhy nese levá hrudní končetina.

- Procentuální zatížení na levé hrudní končetině bylo v rozsahu 38,4 až 57,1 %, průměrně  $46,62 \pm 3,86$  % (průměr  $\pm$  směrodatná odchylka).
- Procentuální zatížení na pravé hrudní končetině bylo (zrcadlově k LP) v rozsahu 42,9 až 61,6 %, průměrně  $53,38 \pm 3,86$  %.

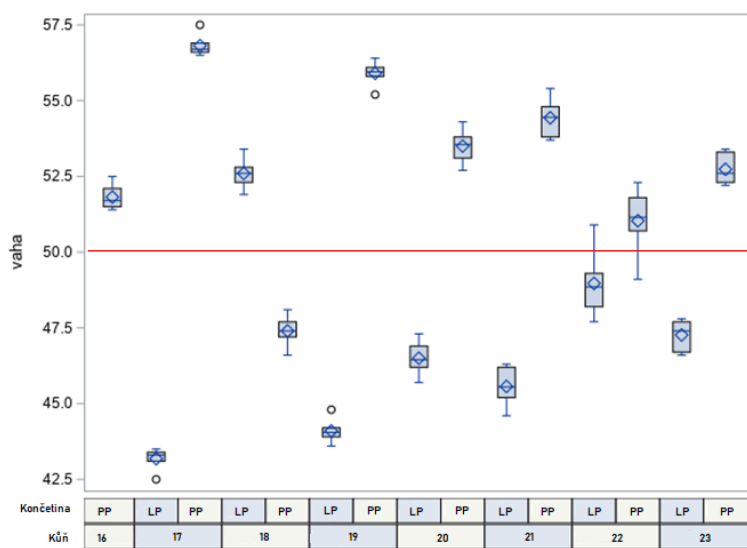
Výsledky naznačují trend většího zatěžování PP na populační úrovni. Z **grafů 6 - 8** je patrné, že pouze 2 koně měli v pohybu více váhy na levé hrudní končetině.



**Graf 6:** Rozložení váhy mezi hrudními končetinami u jednotlivých koní v procentech.



**Graf 7:** Rozložení váhy mezi hrudními končetinami u jednotlivých koní v procentech.

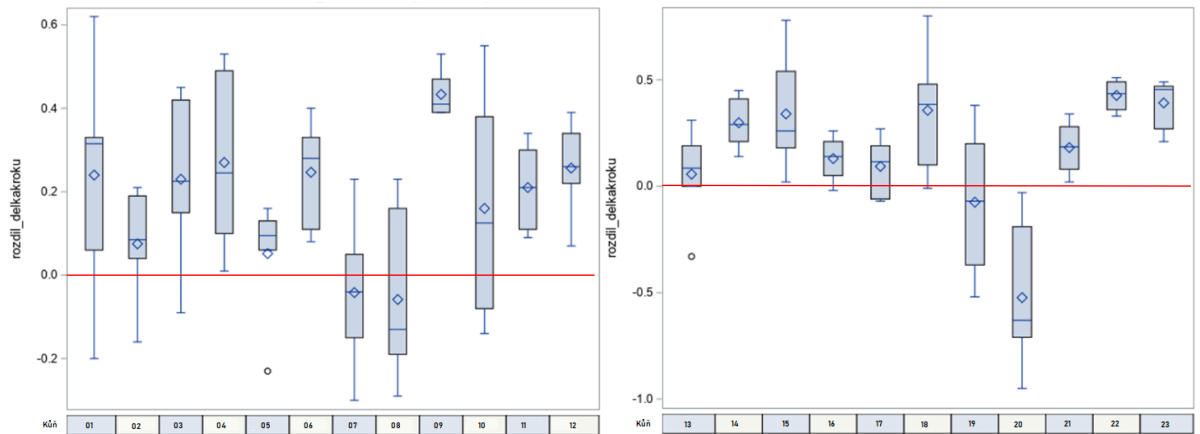


**Graf 8:** Rozložení váhy mezi hrudními končetinami u jednotlivých koní v procentech.



### 5.3.2 Délka kroku

Vzhledem ke staršímu modelu kamaší Ekico Tendboots se slabším výpočetním výkonem sensorů nelze spoléhat na přesnost naměřených údajů v absolutních hodnotách, poskytují však dostatečnou relativizovanou informaci o tom, která končetina dělá delší krok (**Graf 9**). V případě našich dat to byla levá končetina u přesvědčivé většiny sledovaných koní, tudíž lze uvažovat o populačním trendu.

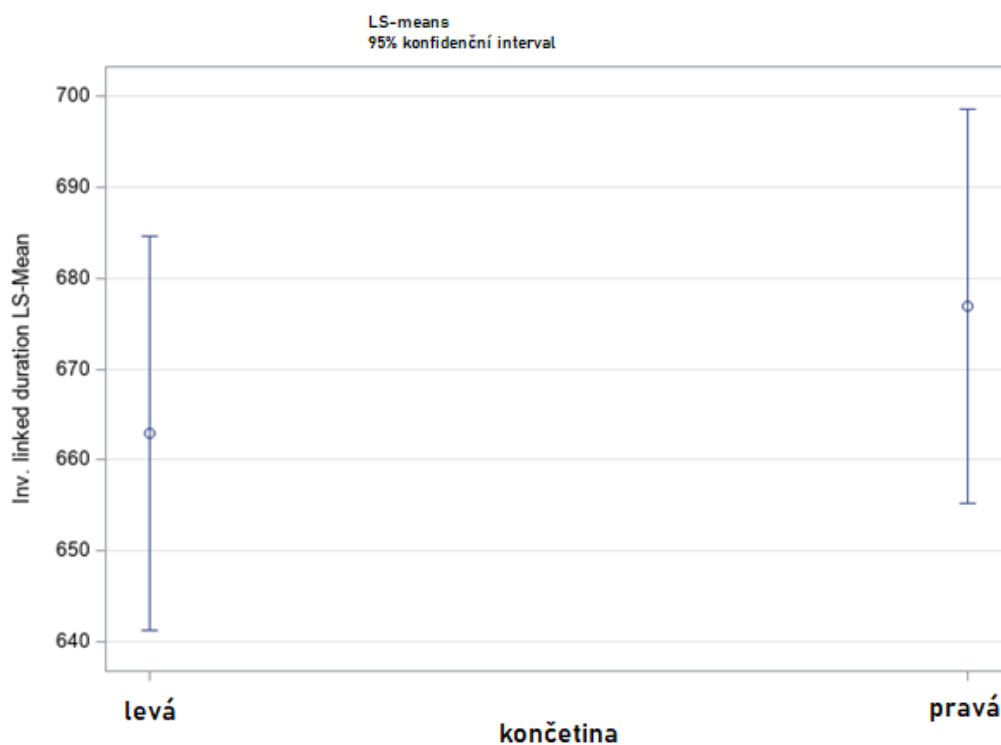


**Graf 9:** Průměrná délka kroku u sledovaného souboru 131 měření pro 23 koní. Na ose y je délka kroku v metrech. Červená linie označuje rovnovážný bod délky kroku. Posun směrem ke kladným hodnotám (nad červenou linií) znamená delší krok u levé hrudní končetiny. Posun více do záporných hodnot (pod červenou linií) znamená delší krok pravé hrudní končetiny.

- Výsledky ukázaly, že 18 koní dělalo delší krok levou hrudní končetinou.

### 5.3.3 Doba trvání střední stejné fáze

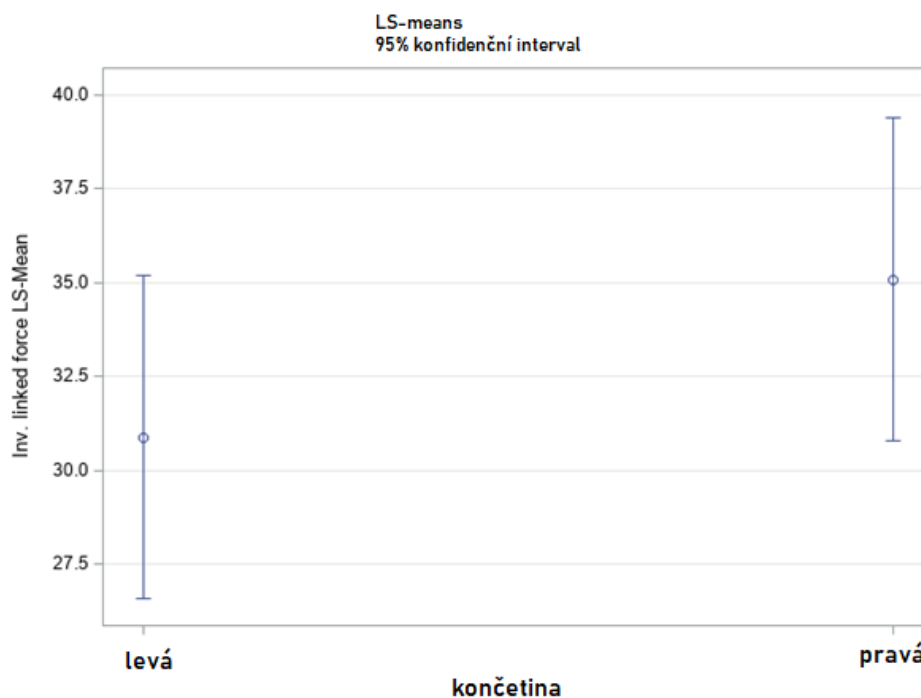
Pravá hrudní končetina vykazuje významně delší dobu trvání střední stejné fáze krokového cyklu. Výsledky ukazují na populační trend. Znázorněno na (**Graf 10**). Hodnocení střední stejné fáze není součástí hypotéz této diplomové práce, je však zajímavé podívat se alespoň na základní vzájemné souvislosti.



**Graf 10:** Průměrná délka střední stejné fáze u sledovaného souboru koní pro jednotlivé hrudní končetiny v metrech za sekundu.

### 5.3.4 Síla působící na hrudní končetiny v kroku

Poslední hodnotou, kterou jsme sledovali, byla síla (**Graf 11**). Nejedná se o jednu z hypotéz diplomové práce, je však zajímavé se podívat alespoň na základní vzájemné souvislosti s ostatními naměřenými hodnotami. Kamaše snímají sílu na základě pohybu spěnkového kloubu.



**Graf 11:** Průměrná síla ve Newtonech působící na jednotlivé hrudní končetiny koně v kroku u souboru sledovaných koní.

- Z grafu je patrné, že u většiny koní působí v kroku větší síla na pravou hrudní končetinu.

### 5.4 Souvislosti sledovaných proměnných popisujících asymetrie kopyt, postoje a kroku

Vzájemné korelace získaných proměnných byly počítány na datovém setu obsahujících údaje o všech 23 koních, u nichž bylo možné provést měření pomocí kamaší Tendiboosts. Kombinovali jsme výstupy z měření úhlů kopyt, preference postoje při krmení a váhu s délkou kroku naměřenou kamašemi Ekico Tendiboosts. Jednotlivé proměnné měřené těmito kamašemi dle očekávání vykázaly vysokou vzájemnou prokorelovanost ( $|r_s| > 0,85$ , s výjimkou délky kroku). Z důvodu rozložení dat a srozumitelné interpretace výsledků byly i proměnné popisující parametry kroku rozděleny na pravidelné a koně zatěžující více levou nebo pravou přední nohu (kritériem pravidelnosti bylo vždy  $\pm 2,5$  % rozsahu dat kolem equilibria).

#### 5.4.1 Souvislosti preference postoje a podílu váhy mezi hrudními končetinami

- Vzhledem k malému, často nulovému počtu koní v jednotlivých kombinacích kategorií testovaných faktorů byly hodnoty chí-kvadrát testů na hraně (nebo za hranou) statistické významnosti. Dílčí testy poté zpravidla potvrdily nerovnovážné zastoupení jednotlivých kategorií, ovšem vzhledem k celkové struktuře dat je zde uvádíme pouze jako trendy, které by zasloužily další prověřování.
- Dva koně, kteří v kroku kladli více váhy na levou hrudní končetinu, vždy většinově stáli při krmení snožmo.
- Koně, kteří měli v kroku více váhy na pravé hrudní končetině, stáli buď snožmo (4 koně), nebo měli zakročenou levou hrudní končetinu (6 koní). Pouze 3 koně častěji zakročovali pravou hrudní končetinu.

#### 5.4.2 Preference postoje a délky kroku

- Nebyla nalezena žádná statisticky významná souvislost mezi délkou kroku a preferencí postavení koně při krmení. Z 18 koní s delším krokem levou HK stálo nejčastěji snožmo 9, zakročenou levou HK preferovalo 5 a pravou 4 koně.

#### 5.4.3 Podíl váhy v kroku a úhly kopyt

- Oba koně, kteří měli v pohybu více váhy na levé hrudní končetině, měli pravidelná kopyta.
- Koně, kteří měli v pohybu více váhy na pravé hrudní končetině, měli většinou kopyta pravidelná, nebo měli větší úhel na pravém kopytě (10 koní ze 13).

#### 5.4.4 Délka kroku a úhly kopyt

- Koně, kteří dělají delší krok levou hrudní končetinou, měli kopyta většinou pravidelná (8 koní) nebo větší úhel na pravém kopytu (7). Pouze tři koně s delším levým krokem měli tupouhřejší kopyto levé.

#### 5.4.5 Podíl váhy a délka kroku

- Koně (N = 18), kteří dělali v kroku delší krok levou nohou, kladli více váhy na pravou HK (8 koní) nebo rozkládali váhu symetricky (8 koní). Pouze 2 koně zatěžovali více levou HK.

Získaná data i na relativně omezeném vzorku 23 koní, u nichž bylo možné měřit všechny proměnné, naznačují obecné tendence koní k asymetrii jak kopyt, tak postoje hrudních končetin a pohybu (v kroku), a to s výrazně silnější preferencí jedné strany u většiny koní (větší úhel pravého kopyta, a v kroku více váhy na pravé HK a delší krok levou HK).

## 5.5 Výsledky z přístroje Werkman Black/Hoofbeat

Přístrojem Werkman Black/Hoofbeat jsme měřili 5 koní. Přístroj pro každého z nich vytvořil podrobnou 15stránkovou zprávu včetně grafických znázornění průběhu pohybu kopyt v jednotlivých fázích krokového cyklu (**Obrázek 10**). Kompletní a neupravená zpráva pro koně „Kůň1“ s popisem předkládaných výsledků je součástí přílohy (**Příloha I**).

Pro naměření spolehlivých dat je potřeba, aby kůň ušel v každém chodu (krok, klus) alespoň 20 kroků. U koně „Kůň3“ bylo v klusu naměřeno pouze 19 kroků na levé hrudní končetině a 18 kroků u končetin pánevních. Přístroj na tento nedostatek upozornil barevným vyznačením u přehledu na úvodní stránce zprávy. Naše měření tato chyba neovlivnila, protože zadání dipolomové práce nepočítalo s hodnocením pohybu v klusu. Počet kroků v kroku byl dostatečný.

**Tabulka 4:** Sledované hodnoty naměřené přístrojem Werkman Black/Hoofbeat

	Úhel LP	Úhel PP	Délka kroku LP	Délka kroku PP	Délka kroku LZ	Délka kroku PZ
Kůň1	<b>59 stupňů</b>	55 stupňů	179 cm	179 cm	179 cm	179 cm
Kůň2	50 stupňů	<b>61 stupňů</b>	169 cm	169 cm	169 cm	169 cm
Kůň3	58 stupňů	<b>60 stupňů</b>	183 cm	183 cm	183 cm	183 cm
Kůň4	<b>60 stupňů</b>	56 stupňů	165 cm	165 cm	165 cm	165 cm
Kůň5	59 stupňů	59 stupňů	153 cm	153 cm	153 cm	153 cm

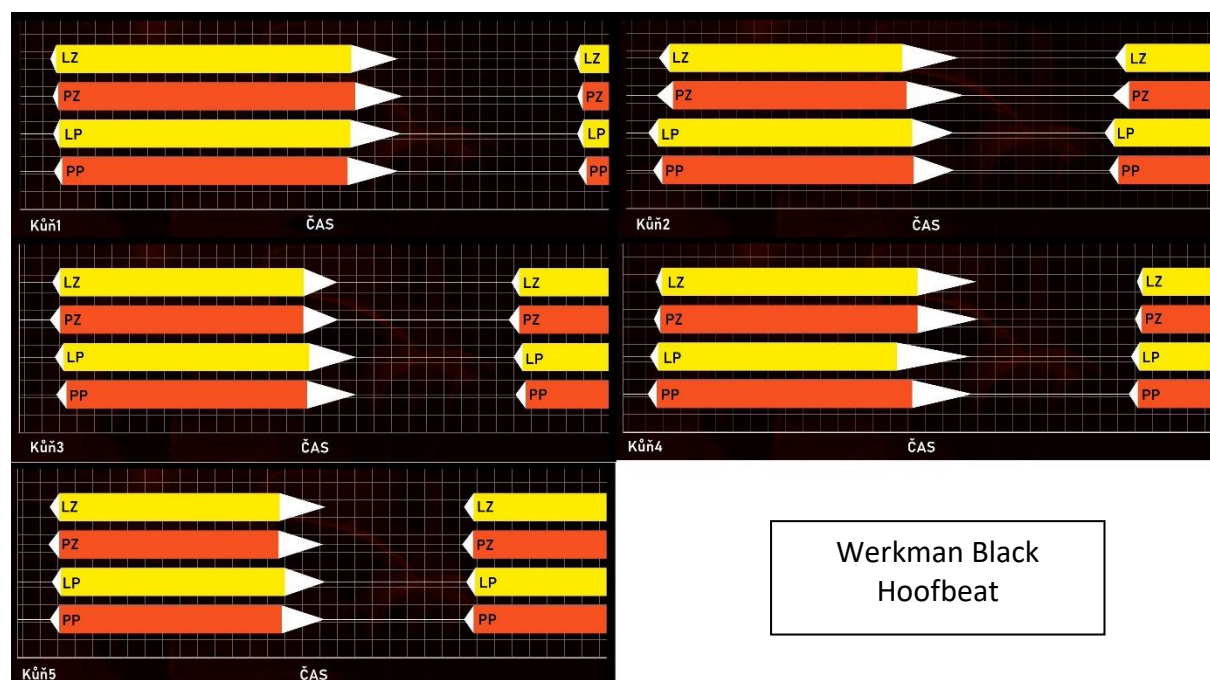
Ze sledovaných 5 koní měli 2 koně tupouhřejší kopyto u pravé hrudní končetiny, 2 koně u levé a jeden kůň měl kopyta symetrická (**Tabulka 4**). Rozdíly mezi asymetrickými kopyty nabývaly hodnot 2 – 11 stupňů. Při rozdíl úhlů  $\geq 1,5$  stupně byla kopyta považována za asymetrická. Tupouhřejší kopyto vyznačeno tučně.

**Tabulka 5:** Relativní stojná fáze (RSF) pro jednotlivé končetiny. Tučně je vyznačena hodnota pro kopyto s větším úhlem dorzální kopytní stěny. Úhly u „Kůň5“ byly totožné.

	Délka kroku	RSF PL	RSF PP	RSF LZ	RSF PZ
Kůň1	179 cm	<b>66,4 %</b>	66,9 %	66,6 %	65,9 %
Kůň2	169 cm	65,7 %	<b>67,6 %</b>	67,0 %	66,1 %
Kůň3	183 cm	62,3 %	<b>63,0 %</b>	66,0 %	65,4 %
Kůň4	165 cm	<b>66,8 %</b>	67,6 %	66,7 %	67,7 %
Kůň5	153 cm	66,8 %	66,5 %	66,2 %	66,5 %

Vzorek 5 koní je moc malý na řádnou statistickou analýzu. Výsledky koní v Mažicích ukazují, že u 4 koní z 5 byla relativní stojná fáze delší u pravého hrudní končetiny bez ohledu na to, které kopyto bylo tupouhřejší. Rozdíly byly velice malé, menší než 1 % (**Tabulka 5**). Výjimkou byl „Kůň2“, kde byl naměřen rozdíl 1,9 % ve prospěch delší relativní stojné fáze u kopyta pravé hrudní končetiny. Rozdíl úhlů dorzální kopytní stěny byl u tohoto koně 11 stupňů. Pravé kopyto bylo tupouhřejší (61 stupňů). Nejsymetrickější hodnoty byly u „Kůň5“, který měl

symetrická kopyta. Jako jediný vykazoval mírně delší relativní stojnou fázi na levé hrudní končetině. Jednalo se o zanedbatelný rozdíl 0,3 %.



**Obrázek 10:** Grafické znázornění průběhu krokového cyklu kroku u 5 sledovaných koní.

Ukazuje drobné asymetrie v pohybu mezi končetinami. Časový průběh jednotlivých fází krokového cyklu je zachycen na ose y. Popis zleva doprava: První trojúhelník představuje dobu trvání došlapu. Obdélník zachycuje střední stojnou fázi. Druhý trojúhelník zaznamenává dobu překlupu kopyta do letové fáze. Žlutá barva označuje končetiny na levé straně těla, oranžová barva na pravé. Mezera mezi obrázky zastupuje letovou fázi.

Přístroj Werkman Black/Hoofbeat předkládá podrobné vyhodnocení symetrie pohybu koně, poskytuje detailní analýzu průběhu a pravidelnosti krokového cyklu jednotlivých končetin. Získané výsledky přinášejí cenné informace pro zkoumání motorické preference na nejhlubší úrovni. V případě dlouhodobého monitoringu by bylo možné vyhodnocovat změny v biomechanice pohybu vlivem vybraného tréninkového plánu a zatížení. Bylo by tak možné ověřit, zda se časem motorická preference jedince mění (zesiluje, zeslabuje, co změnám předchází), případně by bylo možné rychleji zahájit veterinární intervenci v případě detekce anomálie způsobené zdravotní indispozicí. Jejich výhodou je, že jsou lehké a neovlivňují koně v pohybu. Nevýhodou přístroje jsou nároky na přípravu kopytní stěny. Obzvláště v případě zhoršených podmínek počasí, kdy je nutné kopyta nejprve před aplikací senzorů vysušit. Vysoušení fénem může být pro koně stresující. Mínusem je i nutnost senzory opakovaně nabíjet mezi jednotlivými měřeními. Během nabíjení dochází zároveň i k přenosu dat do tabletu a ukládání dat na server. Není proto možné přístroj používat v místech bez dobrého přístupu k elektrickému proudu z důvodu nutnosti průběžného napájení přístroje. Přestože není možné říci, že by byla aplikace senzorů komplikovaná, vyžaduje korektní umístění jistou míru zkušenosti a je časově náročnější. Mladé a nezkušené koně může manipulace se senzory kolem kopyt rozrušit a může dojít k zranění. Je proto vhodné koně nejprve naučit dobrou základní manipulaci a seznámit je s ruchem kolem přípravy aplikace senzorů. Pro měření motorické

laterality u „neosaháných“ koní by mohl požadavek na protrénování potřebné manipulace vnést do dat zkreslení vlivem člověka a tréninku. Nicméně aplikace jakýchkoliv měřících přístrojů je u mladých a nezkušených koní komplikovaná.

## 6 Diskuze

### 6.1 Diskuze nad výsledky

Diplomová práce se zabývala souvislostmi mezi asymetrií pohybu, nerovnoměrným zatěžováním končetin a asymetrií kopyt u koní. Snažila se ověřit alespoň část teorie „syndromu křivého koně“, kterou postuloval veterinární lékař Dr. Kerry Ridgway. Motorické lateralitě neboli lateralizaci pohybového chování koní se již věnovala celá řada studií (Byström et al., 2020; Kuhnke & König von Borstel, 2022; Lucidi et al., 2013; McGreevy & Rogers, 2005; Williams & Norris, 2007), přesto stále existuje velké množství nezodpovězených otázek.

Sběr dat byl rozdělen do tří dílčích celků, které se zabývaly vyhodnocením preference postavení hrudních končetin (HK) při krmení, zhodnocením bilaterální asymetrie úhlů dorzální kopytní stěny u HK a analýzou délky kroku a rozložení váhy mezi HK u koní v pohybu na rovné linii. Pro lepší přehlednost byla diskuze rozčleněna do tematických podkapitol.

Souhrnná data i na relativně omezeném vzorku 23 koní, u nichž bylo možné měřit všechny proměnné, naznačují obecné tendence koní k asymetrii jak kopyt, tak postoje HK v kroku. U většiny koní se ukazuje silnější preference jedné strany. Nejfrekventovanějšími výsledky byl větší úhel pravého kopyta, v kroku více váhy na pravé HK a delší krok levou HK. Je zajímavé zmínit i výsledky měření nad rámec hypotéz k diplomové práci. Tato data ukázala, že i doba trvání střední stojné fáze a síla, která působila na končetinu v kroku, dosahovala u převážné části koní vyšších hodnot u pravé HK.

#### 6.1.1 Pozice hrudních končetin při krmení

Výsledky ukázaly, že ze 33 sledovaných koní preferovalo 48,5 % při krmení stání snožmo a zbývajících 51,5 % dávalo přednost rozkročenému postoji. K podobným výsledkům došla i studie van Heel et al. z roku 2006, ve které si povšimli lateralizované posturální preference při pasení u 46 % hříbat. Na rozdíl od studií jiných autorů, byl v diplomové práci podíl koní, kteří dávali přednost podkračování levé (9) nebo pravé (8) HK, rovnoměrně rozdělený. Wells & Blache (2008) například pozorovali častější předkračování pravé HK, kdežto McGreevy & Rogers (2005) zaznamenali preferenci překračování levé HK. Je logické, že upřednostňovanou končetinou pod tělem byla vždy druhá ze zmíněné dvojice HK.

Většina koní, kteří upřednostňovali rozkročenou pozici, volila s různou intenzitou jednu z HK. Výjimkou byl jeden z koní, který končetiny pravidelně střídal. Jednalo se o mladého sportovního koně, který ještě nebyl obsednutý, ani neprošel systematických výcvikem. Je možné polemizovat, že ve svých 3 letech ještě neměl vyhraněnou preferenci a zároveň mu jeho individuální anatomie (dlouhé končetiny) nedovolala delší dobu pohodlně stát s HK u sebe. Proto poměrně často (27,9 % času) volil postavení rozkročmo, prozatím ale ještě bez vyhraněné preference pozice levé a pravé HK. Ducro (2009) ve své studii považuje selekci koní pro určitý typ tělesné konstituce za jeden faktorů, které přispívají k rozvoji nepravidelných kopyt u koní.

Analýza dat ukázala souvislosti mezi volbou postoje a úhly kopyt. Koně, kteří měli větší úhel dorzální kopytní stěny na levé HK, stáli preferenčně se zakročenou levou HK. Naproti tomu jedinci, kteří měli tupouhlejší kopyto na pravé HK, stáli buď snožmo (5/14) nebo se zakročenou pravou HK pod tělem (6/14). Nabízí se myšlenka, zda by za tímto rozdělením



nemohla stát teorie posunu doprava (right shift theory). Teorie jediného hypotetického genu z pera Mariany Annett se dvěma alelami, s nichž jedna iniciuje posun směrem doprava (RS+) a druhá neinicuje žádný směrový posun (RS-). Jedinec pouze s alelou RS- by tak mohl být pravák, levák nebo být nevyhraněný a rozvoj jeho motorické lateralality by zcela závisel na environmentálních podmínkách (Annett, 2008). S touto teorií nesouhlasil McManus, který následně předložil vlastní upravený model, jenž zahrnoval alely D a C a procentuální zastoupení jednotlivých kategorií se lišilo (McManus, 1991). Přestože se dnes ukazuje, že se na rozvoji motorické lateralizace účastní minimálně 40 nejspíše vzájemně interagujících genů (Ocklenburg et al., 2022), nelze se ubránit lákavé myšlence, zda by se podobný, ne však stejný, model nemohl promítat i na rozdělení souboru měřených koní. Koně s tupouhlejším kopytem na pravé hrudní končetině, kteří preferují stání snožmo, by hypoteticky mohli být jedinci jen s jednou alelou k posunu doprava, u kterých nedošlo k tak silnému posunu v motorické preferenci vpravo. Výsledky měření z kamaší Ekico Tendiboos na 23 koních ukázaly, že podíl váhy větší než 52,5 % neslo v pohybu na pravé HK 13 jedinců (56,5 %). V případě, že bychom však koně striktně rozdělili jen do dvou kategorií „pod 50 %“ a „nad 50 %“, bylo by koní s větší vahou na pravé HK v kroku dokonce 91,3 %. Je zřejmé, že motorická lateralita koně povětšinou „táhne“ více k pravé straně bez ohledu na preferovaný postoj. Je nesporné, že se na výsledném pohybovém stereotypu jedince promítá velké množství faktorů, proto může tato spekulace zůstat pouze ve sféře zajímavé myšlenky, která by zasloužila další bádání.

### 6.1.2 Úhly kopyt

Za asymetrická byla považována kopyta, u kterých byl rozdíl úhlů dorzální kopytní stěny větší než 1,5 stupně. Ze sledovaných 33 koní mělo 19 koní nepravidelná kopyta, přičemž u 14 z nich byl větší úhel na pravé HK. Bylo zjištěno, že u koní s vyšším úhlem u kopyta pravé HK byla kopyta více asymetrická, zatímco u koní s vyšším úhlem u kopyta levé HK byla asymetrie kopyt méně výrazná. Toto zjištění by mohlo korelovat se sníženou mírou lateralizace leváků v lidské populaci.

Solodkin et al. (2001) studoval rozdíl v aktivaci oblastí mozku u pravorukých a levorukých lidí. Na pokyn měli pohybovat prsty střídavě jedné a druhé ruky. Jeden z úkolů byl jednoduchý dotek prstu a palce, druhý úkol byl více komplexní. Jednalo se o sekvenční úkol, kdy se měly palce dotknout jeden po druhém všechny prsty ruky. Závěry ukázaly, že sekvenční úkoly vedly k výrazné aktivaci mozku s více bilaterální rozložením, zatímco jednoduchý úkol vedl k menší aktivaci menšího počtu míst, projev byl však více lateralizovaný. Projev u leváků a praváků se lišil. U sekvenčního, více komplexního úkolu, docházelo u levorukých jedinců k výraznější mozkové aktivaci co do objemu i počtu míst a vykazovali výrazně menší lateralizaci mozku (Solodkin et al., 2001). Zajímavé výsledky přinesl výzkum, který sledoval, jakým způsobem budou pravorucí a levorucí lidé stavět skládačky a modely z LEGO® kostiček. Bez jakýchkoliv dalších instrukcí měli co nejrychleji složit skládačku a LEGO® model. Praváci vykazovali silnou preferenci pro skládání pravou rukou (více než 80 %). Levou ruku používali k přidržování. Zatímco leváci používali levou ruku jen necelých 50 % času. Polovinu času tedy používali svou nedominantní ruku, a to dokonce i k podávání dílů, které ležely na druhé straně těla. Autor tento jev vysvětluje požadavky na vizuomotorickou kontrolu a polemizuje, že u leváků vyžadují některé pohyby větší komunikaci mezi hemisférami

než u praváků (Gonzalez et al., 2007). Další recentní studie dochází k závěru, že v závislosti na typu úkolu se u leváků neukazuje tak jasná hemisferická lateralizace motorického plánování na rozdíl od praváků (Helmich et al., 2022).

Pokud by platilo, že kopyto s větším úhlem dorzální kopytní stěny představuje dominantní končetinu, pak by paralela s menší lateralizací u levorukých lidí mohla být vysvětlením pro menší asymetrii kopyt v případě, že je kopyto s větším úhlem na levé hrudní končetině. I v případě, že by byl kůň dominantní na levou hrudní končetinu, by se v situacích, které vyžadují komplexnější pohybové chování, nechoval natolik vyhraněně. Dalo by se pak předpokládat, že i síly, které působí na kopytní pouzdro, budou více symetrické. Z dlouhodobého hlediska by tak docházelo k menší asymetrické deformaci a rozdíly mezi kopyty by nebyly tak výrazné. Kopyta by se více blížila symetrii. Naproti tomu koně dominantní na pravou hrudní končetinu budou vykazovat celkově více lateralizované chování i u komplexnějších pohybů, které povede k většímu rozdílu mezi kopyty. Bylo by zajímavé tuto teorii dále ověřit v praxi.

Rozdílná aktivace mozkových hemisfér, a tím pádem i volba končetin by mohla přispívat také k rozdílným výsledkům, které předkládají různé testy motorické laterality (Wells & Blache, 2008). Závěry rozsáhlé studie Kuhnke (2022) odhalují, že se lateralita u koně projevuje různými způsoby, mezi kterými všeobecně neexistuje souvislost, a je proto velice důležitý vhodný výběr metody s ohledem na informace, které chceme získat. Omezíme-li se na projevy motorické laterality, které Kuhnke sledovala, dozvíme se, že dle jejích výsledků nekoresponduje preference postavení hrudních končetin u koně při pasení s pocity, které vnímá jezdec. Nabízí se proto myšlenka, že mechanismus, který kůň používá při příjmu potravy má jiné požadavky v porovnání s pohybovými aktivitami, které vyžadují udržení rovnováhy v pohybu s jezdcem na hřbetě (Kuhnke & König von Borstel, 2022). Preference postavení končetin při pasení je jednou z nejpoužívanějších metod pro stanovení motorické laterality u koní. Jedná se o jednoduchý test. Zdánlivá výhoda je zároveň jeho největší slabinou, protože nedokáže plně reflektovat mechanismy složitějších pohybů a situací, kterým je kůň během života vystavován. Pozice končetin během pasení nebo konzumace krmiva bychom mohli vidět jako jednoduchý úkol, který od koně nevyžaduje náročné motorické plánování. Zatímco cvalová práce, překonávání překážek, nebo předvádění cviků pod jezdcem, budou složitější úkoly, vyžadující vyšší míru plánování a organizace pohybu (tzv. praxis). Na základě dvou odlišných testů by mohl být ten samý kůň jednou označen za dominantního na pravou hrudní končetinu a podruhé za dominantního na levou hrudní končetinu. Vliv komplexity úlohy na volbu hrudní, ale především pánevní končetiny, byl již několikrát opakovaně potvrzen (Solodkin et al., 2001; van Melick et al., 2017).

Rozdílnost používání HK a především menší asymetrii mezi kopyty u koní s větším úhlem u kopyta levé HK, by mohla podpořit ještě jedna paralela z humánních studií. Studie síly dominantní ruky u lidí ukázaly, že pravidlo silnější dominantní ruky platí pouze pro pravou ruku u praváků. U leváků se síla stisku u dominantní a nedominantní ruky neliší (Petersen et al., 1989; Incel et al., 2002). Petersen (1989) zjistil, že je pravá ruka u praváků silnější přibližně o 10 %.

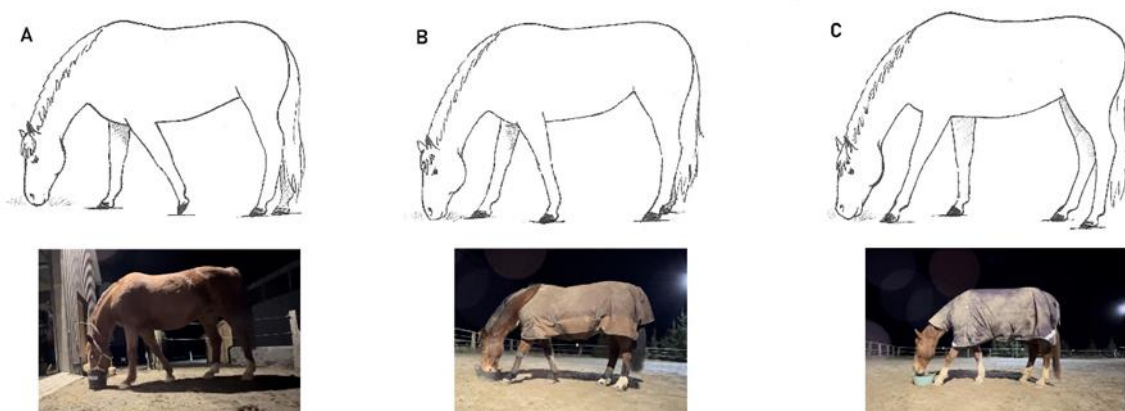
Prozatím není zcela jasné, která z dvojice končetin je u koní funkčně dominantní. Kerry Ridgway očekával častější výskyt tupouhlejšího kopyta u dominantní hrudní končetiny. Tvrdil, že rozdílné zatížení a délka kroku u hrudních končetin bude mít za následek deformaci

kopytního pouzdra, která povede k nepravidelnému tvaru kopyt. Zkrácení kroku u dominantní HK bude mít za následek posun těžiště kopyta směrem vpřed, patky budou při došlapu méně zatíženy a budou mít tendenci být vyšší. Kopyto bude tupouhlejší. Preference stání s dominantní HK zakročenou více pod tělem bude stav podporovat a udržovat. Sám ale upozorňoval, že je tvar kopytního pouzdra nejméně spolehlivým indikátorem motorické laterality. Dokonce si kladl otázku, zda není v mnoha případech rozdíl kopyt spíše symptomem prodělaného traumatu a bolestivosti, spíše než motorické laterality (Ridgway, 2015; 2017a; 2017b). K tomuto tématu je zajímavé pročíst výzkumy, které se věnovaly traumatům u hříbat. Závěry studií, které sledovaly výskyt fraktur žeber u novorozených hříbat ukazují, že 1 z 5 hříbat má po narození asymetrický tvar hrudníku, který by mohl indikovat prodělané trauma při průchodu porodními cestami. Alarmující je zjištění, že i hříbata s diagnostikovanou fakturou žeber často nevykazují žádné klinické příznaky (Jean et al., 2007; Schambourg et al., 2003). Pilotní studie od Stroud et al. (2016) ukázala přítomnost asymetrické rotace pánve u novorozených hříbat. Co je však důležité, asymetrie byla výraznější u hříbat, které matky porodily ve stoje. Zmiňované studie nahrávají KRT a mohou být důvodem změny projevu lateralizovaného chování následkem prodělaného traumatu během porodu nebo čerstvě po něm. Mohly být vysvětlením pro některé nekonzistence v získaných datech. Například jiný než očekávaný postoj hrudních končetin, nebo „prohozené“ tvary kopytního pouzdra. V rámci diplomové práce však nebylo možné tyto domněnky ničím podložit.

Přestože jsou traumata bezpochyby jedním z faktorů, které mohou mít na finální projev motorické laterality u jedince vliv, není možné za nimi hledat primární příčinu pohybové preference. Wells & Blache (2008) spekoval, jak hodnotit motorickou lateralitu koně na základě rozkročeného postoje při pasení. Někteří autoři a trenéři se kloní k přesvědčení, že předkročená hrudní končetina označuje stranu těla s lepšími pohybovými schopnostmi (McGreevy et al., 2007). Wells zastával názor, že by z pohledu koně mohla být preferovanou končetinou ta, která nese více váhy a měla by proto být silnější. Argumentoval, že z pohledu boje o přežití bude důležitější končetina, která nese více váhy. Není však zcela jasné, která hrudní končetina nese při rozkročeném postoji během pasení více váhy.

Během natáčení video záznamů pro sběr dat k posturální preferenci u krmení, bylo možné zaznamenat tři rozdílné modely rozkročeného postoje. Jejich grafické znázornění je zachycené na obrázku (**Obrázek 11**). **Model A** ukazuje koně, který měl při krmení pravou HK kolmo pod tělem a levou více zakročenou dozadu pod břicho. Bylo zřejmé, že někteří koně nestáli plnou vahou na zakročené končetině, patková část kopyta byla občas viditelně přizvednutá. Je možné spekulovat, že v takovém případě nese více váhy končetina více vepředu, protože je lépe situovaná pod tělem a vytváří jakýsi pilíř, o který se kůň může opřít. Končetina, co je hlouběji pod tělem, tak může být odlehčena. **Model B** ukazuje koně, který má HK rozkročené do tvaru písmene „A“. V tomto případě není možné ani odhadem určit, na které končetině by mohlo být více váhy, nebo zda je váha rozložena symetricky. Poslední **model C** zachycuje koně, který má pravou HK kolmo pod tělem, ale levou HK má tentokrát předkročenou před sebe. Opět bychom mohli polemizovat, že bude mít pravděpodobně více váhy na pravé hrudní končetině, která je v této situaci skutečně hlouběji pod tělem. Někteří koně měli při stání v této pozici karpální kloub viditelně ohnutý, což vylučuje plné zatížení zmíněné končetiny. Je nepopiratelné, že koně využívají různé mechanismy distribuce váhy mezi končetinami. Z uvedených ilustrací a fotek je zřejmé, že samotné rozdělení na „více pod

tělem“, nebo „více předkročena dopředu“ může být zavádějící. Nejspolehlivější metodou pro ověření rozložení podílu váhy mezi HK by bezpochyby bylo postavit koně na váhy, které by změřily konkrétní hodnoty.



**Obrázek 11:** Tři různé modely rozkročeného postoje.  
Kresby: Kristýna Oweisová, fotky: fotoarchiv autorky

### 6.1.3 Rozložení podílu váhy a délka kroku hrudních končetin

V případě, že bychom koně striktně rozdělili jen do dvou kategorií „pod 50 %“ a „nad 50 %“, tedy na prosté „více“, jak byla postupována hypotéza, bylo by koní s větší vahou na pravé HK v kroku 91,3 %. Z důvodu rozložení dat a srozumitelné interpretace výsledků byly i proměnné popisující parametry kroku rozděleny na koně pravidelné a koně zatěžující více levou nebo pravou přední nohu (kritériem pravidelnosti bylo vždy  $\pm 2,5$  % rozsahu dat kolem equilibria). Na základě zmíněné kategorizace neslo podíl váhy větší než 52,5 % v kroku na rovné linii na pravé HK 13 (56,5 %) z 23 koní měřených kamašemi Ekico Tendiboots.

Studie, které by se zaměřily na zkoumání distribuce váhy mezi pravou a levou HK v kroku prozatím nejsou příliš k dispozici. Většina se věnuje spíše rozložení váhy mezi hrudními a pánevními končetinami (Hood et al., 2001), případě sledovala rozložení váhy mezi HK u patologických stavů (Hood et al., 2001), proto není možné výzkumy vzájemně porovnávat. Dostupné studie se zabývaly především rozdílnými reakčními silami podložky (Hobbs & Clayton, 2013; Hobbs et al., 2018a; 2018b), nebo měření centru tlaku pod kopyty (Nauwelaerts et al., 2017). Výsledky dochází k obdobnému závěru, jako výsledky diplomové práce, a to sice že síly v kroku nepůsobí na jednotlivá kopyta a končetiny symetricky. Z námi naměřených hodnot je patrné, že u většiny koní působila v kroku větší síla na pravou hrudní končetinu.

Rozdílné nesení váhy u HK s větším podílem na pravé končetině podporuje závěry studie Deuel & Lawrence (1987), který viděl pravou HK jako hlavní končetinu opory. Odpovídá i teorii Colborne et al. (2009), který si všiml, že pravá hrudní končetina není tak aktivně tažena z retrakce vpřed a zůstává proto zakročena déle. Polemizoval, že kůň takovou končetinu bude požívat spíše jako pasivní vzpěru, přes kterou se převalí vpřed (Colborne et al., 2009). Zmiňovaný výzkum Colborne et al. je v souladu i s pozorováním, že většina koní měřených v rámci diplomové práce, dělala delší krok levou HK. Byström et al. (2018) též zaznamenala delší krok u 71 % koní, které ve studii sledovala.

Koně, kteří měli v pohybu více váhy na pravé hrudní končetině, měli většinou kopyta pravidelná, nebo měli větší úhel na pravém kopytě a stáli při krmení buď snožmo (4 koně), nebo měli zakročenou levou hrudní končetinu (6 koní). V zastavení se objevoval možný mírný trend k přednostnímu zakračování opačné končetiny, než na které kůň nesl v kroku více váhy. Můžeme polemizovat, že se jedná o kompenzační mechanismus, který má ulevit noze, která je preferenčně zatěžována v pohybu. V zastavení pak nese více váhy druhá „nedominantní“ končetina, aby si mohla více namáhaná „dominantní“ končetina v zastavení „odpočinout“. Data soubor byl příliš malý, abychom mohli mluvit o jasné souvislosti. S jistotou však můžeme potvrdit, že jsme častěji pozorovali postavení rozkročmo u koní, kteří vykazovali výraznější asymetrii zatížení HK v kroku.

Zdá se, že na rozvoj asymetrie kopyt má více vliv preference, jak kůň stojí v zastavení, spíše než rozložení váhy mezi HK v pohybu. Tuto domněnku potvrzuje i studie (Bellenzani et al., 2012), která nezjistila souvislosti zatěžováním kopyta v pohybu s nepravidelným tvarem kopytního pouzdra. Prodloužené periody stání v určité pozici mají zřejmě na tvar kopyt větší dopady. Potvrzuje to i studie O'Grady (2014). Závěr se jeví jako poměrně logický, protože v pohybu se zatížení rytmicky střídá a trvá poměrně krátkou dobu. Kopytní pouzdro se tak má šanci po krátké deformaci rytmicky vracet k původnímu tvaru. Tuto myšlenku však bude ještě potřeba dále probádat.

Nicméně rozdílné zatížení v pohybu a větší incidence výraznějšího zatížení pravé HK by mohla být vysvětlením, proč se některá zranění ve studii Ramzan & Palmer (2011) častěji vyskytovala na pravé hrudní končetině. Obzvláště když jsme zaznamenali častější výskyt tupouhého kopyta na pravé HK. Ve zmíněné práci se konkrétně jednalo zranění kopytní kosti, karpálního kloubu a šlachy povrchového ohybače prstu. Z jiných studií víme, že jsou tupouhřejší kopyta spojována se zvýšením nitrokloubního tlaku u kopytního kloubu (Viitanen et al., 2003), většímu namáhání mezikostního svalu a povrchového ohybače prstu (Lawson et al., 2007; Riemersma et al., 1996).

U délky kroku se prozatím nenašla žádná statisticky významná souvislost s ostatními sledovanými proměnnými, ale to také mohlo být způsobeno příliš malým vzorkem koní k dispozici. Z 18 koní s delším krokem levou HK stálo nejčastěji snožmo 9, zakročenou levou přední preferovalo 5 a pravou 4 koně. U převážné většiny koní jsme zaznamenaly významně delší dobu trvání střední stojné fáze u pravé HK. Tento objev je v souladu s výsledky Byström et al. (2018), která si všimla, že delší doba trvání stojné fáze na pravé HK vede k většímu poklesu kohoutku na protilehlé straně a k delšímu kroku protilehlé HK, což je v tomto případě levá končetina.

Závěrem diskuze k výsledkům můžeme říci, že pohybové chování koně nebylo zrcadlovým obrazem a nebylo proto možné jednoznačně potvrdit stanovené hypotézy. S ohledem na výsledky je možné konstatovat, že se „vrozená křivost u koní“ manifestuje různými způsoby a téma si žádá pokračující studium na větším vzorku koní. Pokud bychom shrnuly nejčastější pozorování na 23 koních, u kterých bylo možné sledovat největší množství vzájemně propojených proměnných, můžeme říci, že se náš „imaginární křivý kůň“ v několika bodech (ne však zcela) podobal všeobecné teorii Kerryho Ridgwaye. Avšak pouze pro koně dominantního na pravou HK.

## 6.2 Slabá místa v metodice

Autorka práce považuje za důležité nastínit potenciálně slabá místa metodiky s návrhy na eliminaci možných chyb pro budoucí měření.

### 6.2.1 Měření úhlu dorzální kopytní stěny

Digitální úhloměr nebylo možné vynulovat vůči přesné ploše, na které stálo kopyto. Vždy musel být umístěn vedle kopyta, aby mohl být následně přiložen k dorzální kopytní stěně. U některých neklidných koní nebyl úhloměr vynulován v bezprostřední blízkosti vedle samotného kopyta, ale o několik centimetrů vedle. Není možné přepokládat, že byla plocha, na které měření probíhalo, naprosto rovná a pravidelná. Tento bod se týká především asfaltové cesty a dlážděné plochy u stáje. Nedá se vyvrátit, že betonová plocha, na které některá měření probíhala, neměla na svém průběhu odlišný sklon. Tyto nerovnoměrnosti povrchu se mohly projevit na přesnosti naměřených dat. Do budoucna by bylo vhodnější použít přesnější přístroj, kterým je například ověřený Metron Hoof (Moleman et al., 2005).

Studie, která se zabývala sledování přesnosti měření jednotlivých pomůcek pro určení úhlu dorzální kopytní stěny, ukázala, že žádné z testovaných měřidel nebylo schopno měřit data, která by byla zároveň spolehlivá i validní. Získaná data se lišila mezi jednotlivými měřidly i v rámci stejného měřidla, které obsluhovali rozdílní lidé, přestože dostali stejné instrukce, jak měřidlo používat. I v případě nejspolehlivějšího měřidla byla variance stále příliš vysoká. Autor článku proto doporučil, aby byly pro získání přesných dat používány mediolaterální rentgenologické snímky. Ve své studii pro tyto účely používali přístroj Metron (Moleman et al., 2005). Digitální úhloměr, který byl použit v rámci sběru dat pro diplomovou práci, ve studii zahrnut nebyl. Je možné očekávat, že se nepřesnost dat, která byla pozorována u ostatních měřidel, projeví i u digitálního úhloměru. Aby byla chybovost minimalizována a byly vyloučeny chyby způsobené rozdílným styl měření, měřila autorka práce všechna kopyta sama.

Dalším faktorem, který mohl vnášet do měření chybu, byly nepravidelnosti na samotném průběhu dorzální stěny kopytní (Sellke et al., 2023). Tyto nepravidelnosti mohly být dány změnou úhlu, pod kterým kopytní stěna odrůstala od korunkové linie směrem k zemi, růstovými kroužky na kopytní stěně, nebo jinými růstovými nepravidelnostmi. Na vině mohl být i umělý zásah člověka při úpravě kopytní stěny pomocí rašple. Digitální úhloměr byl vždy umístěn do středu dorzální kopytní stěny v polovině výšky kopyta. Vzhledem k malé velikosti přístroje tak naměřená hodnota nemusela být reprezentativním zastoupením jejího průběhu.

V neposlední řadě mohly odchylky v měření vzniknout přenášením váhy mezi kopyty během měření, protože při zatížení kopyta dochází k pohybu dorzální kopytní stěny dozadu a dolů spolu s poklesem kopytní kosti v kopytním pouzdru při zatížení (Johnston & Back, 2006).

Na tvar a asymetrii kopytního pouzdra mohla mít vliv i stranová preference (praváctví/leváctví) kovářů a trimerů, kteří upravovali kopyta jednotlivým koním. V rámci diplomové práce jsme získávali data od 33 koní, jejichž kopyta mělo v péči několik rozdílných specialistů. Navíc sami majitelé přiznali, že kopyta svých koní někdy mezi jednotlivými termíny návštěv kováře upravují sami. Studie, která se věnovala medio-laterální rovnováze a symetrii při úpravě kopyt podkovářskými uční, poukázala na tendenci upravovat mediální

a laterální stěnu odlišným způsobem vzhledem k individuální motorické lateralitě člověka (Ronchetti et al., 2011). Existuje proto možnost, že k samotné asymetrii mezi kopytem pravé a levé hrudní končetiny přispívá o lateralita kováře, trimera, nebo člověka, který kopyta mezi termíny specialisty upravuje.

### **6.2.2 Měření kamašemi Ekico Tendiboots**

S ohledem na lepší konzistenci naměřených hodnot by bylo výhodnější měřit všechny koně na stejném povrchu. Sběr dat byl omezen možnostmi místa měření. Předpoklad byl, že motorická lateralita zůstane u koně zachována i při rozdílném charakteru měkkého povrchu v jednotlivých stájích. Cílem nebylo porovnat jednotlivé stáje mezi sebou, ale rozdíly mezi dvěma končetinami téhož koně. Obě končetiny se pohybovaly na stejném povrchu.

Rozdílná tvrdost nebo vlhkost sypkých povrchů mění síly, které na kopyta a končetiny koní působí, a tím ovlivňuje i lokomoci (Burn & Usmar, 2005). Sušší a hlubší povrch zmenšuje sílu nárazu během počátečního kontaktu. Končetina je vystavena menšímu mechanickému stresu. Zároveň se snižuje efektivita v odrazové fázi. Při zachování stejné rychlosti se zkracuje délka kroku a zvyšuje frekvence kroků. Naopak tvrdší povrch povede k delším krokům a nižší krokové frekvenci (Chateau et al., 2010). Nezdá se však, že by rozdílná tvrdost povrchu ovlivňovala symetrii pohybu u zdravých koní. Pfau et al. (2016) sledovala symetrii pohybu hlavy a pánve koně při pohybu na kruhu a nenašla významné rozdíly v pohybu zdravého koně na měkkém nebo tvrdém povrchu.

Koně, kteří se účastnili měření byli svými majiteli prohlášeni za zdravé a bez známek kulhání. Nebyli však vyšetřeni veterinárním lékařem, který by s jistotou potvrdil absenci kulhání. Určení zda, a případně na kterou končetinu kůň kulhá, může být náročné i pro veterináře specialisty s dlouholetou praxí (Hardeman et al., 2022). Není proto možné s absolutní jistotou prohlásit, že naměřená asymetrie pohybu souvisela pouze s motorickou lateralitou a výsledky nebyly zkresleny kompenzačními mechanismy způsobenými subklinickým kulháním.

### **6.2.3 Měření preference postavení hrudních končetin při krmení**

U některých jedinců tvořila obsah kbelíku téměř výhradně řezanka, do které bylo přimícháno jen velmi malé množství krmné směsi, nebo granulí pro koně ke zchutnění krmné dávky. To některé jedince vedlo ke strategii nabrání sousta do huby s následným žvýkáním se zvednutou hlavou. Koně nesou od přírody více váhy na hrudních končetinách. Studie uvádějí podíl 58 % na hrudních končetinách a 42 % na končetinách pánevních (Hood et al., 2001). Snížení hlavy a krku, které představují přibližně 12 % z celkové hmotnosti těla koně až k zemi, vede k přesunu většího váhového poměru směrem k hrudním končetinám. Ve volné přírodě se koně při pasení pohybují krokem v před a končetiny relativně pravidelně střídají. Naším cílem bylo nastavit situaci tak, aby museli několik minut stát na jednom místě. Taková situace bude klást na tělo koně jiné nároky než běžný pastevní pohyb. Měla by se jasněji ukázat preference postavení končetin s ohledem na větší zatížení hrudních končetin vlivem udržení pozice s hlavou dole v delším časovém úseku bez hnutí na místě. Na hrudní končetiny u koní, kteří při žvýkání hlavu s krkem zvedali, nebyly kladeny tak výrazné nároky.

Vzhledem k variabilitě jednotlivých měření u jednotlivých koní, bylo by lepší sledovat pozici u krmení opakovaně u všech koní. U 21 koní bylo provedeno pouze jedno měření, které nemusí být reprezentativním vzorkem motorického chování daného jedince. Warren-Smith (2010) na to poukazuje ve své studii, kde zdůrazňuje, že na základě jednodenního pozorování není možné zaručit přesnost výsledku měření. V rámci studie pozorovala skupinku 6 koní pomocí pedometru a jen u 2 jedinců by bylo možné na základě pozorování z jednoho dne správně určit jejich preferenci (Warren-Smith & McGreevy, 2010).

Dalším faktorem, který mohl ovlivnit výsledky získaných pozorování, byly termíny sběru některých dat. Většina koní byla natáčena a pozorována na konci prosince mezi Vánoci a Novým rokem. Časový interval byl zvolen s ohledem na časové možnosti majitelů koní. Bohužel to koreluje s dobou, kdy lidé s blížícím se koncem roku testují zábavnou pyrotechniku a vystavují tak koně zvýšené stresové zátěži. U opakovaných měření se u některých jedinců ukázala jednorázová výrazná změna v preferenci postavení končetin. Je možné, že byly tyto změny následkem fyzického diskomfortu například v důsledku pobíhání na pastvině, které sice nevyústilo ve viditelné kulhání, ale mohlo ovlivnit způsob, jakým se kůň ke kbelíku postavil. Alternativně mohla zvýšená aktivace pravé mozkové hemisféry, která je spojována se stresovými situacemi a expresí strachu (Austin & Rogers, 2014; Byström et al., 2020; Rogers, 2010), vyvolat dočasnou změnu v i pohybovém chování.

Studie Marr et al. (2020) ukázala vliv stresu na posun v motorické lateralitě u koně. Obdobně jako v předkládané diplomové práci před zahájením experimentu určili motorickou preferenci jedince na základě pozorování, kterou hrudní končetinu natahuje při pasení před sebe. V našem pozorování jsme se zaměřovali na to, která končetina byla více pod tělem, tedy preference levé hrudní končetiny před tělem ve studii Marr, koreluje s naší preferencí pravé hrudní končetiny pod tělem. Marr et al. (2020) provedl po změně ustájení (ze skupinového na individuální) opakované měření. Během prvních 24 hodin k žádné změně v motorické lateralitě nedošlo (v sensorické lateralitě zaznamenali významné změny). O týden později již sledovali posun směrem doleva i v lateralitě motorické. O dva měsíce později tento levostranný posun přetrvával (sensorická lateralita zůstala nezměněna). Autoři postulují možnou asociaci posunu motorické laterality vlivem dlouhotrvajícího stresu. Je možné, že by takový stres by mohl být vyvolaný i několika dny náhodného bouchání petard v okolí stáje.

Studie u několika rozličných druhů zvířat ukázaly provázanost mezi hladinou stresových hormonů kortizolu a vyšší incidence leváctví, tedy preference k používání levé hrudní končetiny (Rogers, 2009; 2010). Aktivita pravé hemisféry je asociována se sekrecí kortizolu i reakcí na strach (Rogers, 2009). Také je spojována s regulací pohybu především na levé straně těla (Sun & Walsh, 2006). Preference levé hrudní končetiny může odrážet vedoucí roli pravé mozkové hemisféry při kontrole chování během stresové situace. Siniscalchi et al. (2014) dospěl ke shodným závěrům. Nastupování do přepravníku bývá u koní často spojováno se stresem (Waran, 1993). Siniscalchi zaznamenal výraznou preferenci levé hrudní končetiny při nastupování a vystupování z přepravníku. Navíc se ukázalo, že se vzrůstajícím počtem opakování se preference pro iniciaci nastoupení levou hrudní končetinou snižovalo. Což by mohlo být indicií snižující se aktivity pravé hemisféry v kontrole motorického chování jedince. To je podporováno faktem, že se spolu s tím snižovala i tepová frekvence jedince. Obě zmiňované studie dávají do souvislosti zvýšený stres s předkročením/vykročením levou hrudní končetinou, což znamená, že pravá hrudní končetina zůstávala hlouběji pod tělem. Není možné



vyložit, že k obdobnému posunu v motorické preferenci nedošlo i během sběru dat pro diplomovou práci. S ohledem na případná budoucí měření by proto bylo vhodné pečlivě zvolit časové období tak, aby průběh experimentu nic nenarušovalo.

V rámci pozorování jsme zvolili jako minimální vzdálenost pro klasifikaci asymetrického postoje vzdálenost odpovídající velikosti předních kopyt pozorovaného jedince, tedy na dvě imaginární kopyta. Vycházeli jsme ze studie (van Heel et al., 2006). Van Heel svou studii uskutečnil na hřibatech holandského teplokrevníka, tedy moderních teplokrevných koních s velkým rozsahem pohybu a na „vysoké noze“. V našem měření byla zastoupena různorodá plemena včetně plemen chladnokrevných a méně pohybově výrazných a nadaných. Z průběhu pozorování vyplynulo, že splnění vytyčeného požadavku na rozkročení představovalo pro některé jedince (s poměrově kratšími končetinami a velkými kopyty) poměrně významný „gymnastický úkon“. Co by nezávislý vnější pozorovatel označil za jasnou asymetrii postavení končetin při příjmu krmiva, vyhodnotilo měření na dvě imaginární kopyta jako postavení snožmo. Přes výrazné rozkročení jedinec nedosáhl požadovaného rozdílu ve vzdálenosti mezi svými kopyty. Do budoucna by proto bylo vhodné zvážit snížení požadavku na rozkročení. Například studie (Marr et al., 2018) brala jako asymetrické postavení rozdíl odpovídající jednomu kopytu nebo více. Jiné studie nespecifikovaly konkrétní vzdálenost, kterou hodnotily jako minimální, pouze konstatovaly, že v případě, že koně nestáli s kopyty u sebe, sledovalo se, která z končetin byla předkročena (McGreevy & Rogers, 2005). Je velmi pravděpodobné, že by bylo několik z koní, kteří byli zařazeni do kategorie „snožmo“, přeřazeno do skupiny s určitou motorickou preferencí. Případně by jejich výsledná preference dále statisticky zesílila.

## 7 Závěr

Diplomová práce se zabývala motorickou lateralitou u koní. Zaměřila se na otestování vybraných souvislostí nerovnoměrného zatěžování končetin, pohybových vzorců a stavu kopyt u koní. Cílem bylo ověřit vybrané části teorie Kerryho Ridgwaye známé pod jménem „syndrom křivého koně“. Vzhledem k rozložení dat, menšímu vzorku koní, na němž bylo možné efektivně využít snímače pohybu, a zejména vzhledem k nerovnoměrné síle preferencí různých proměnných u jednotlivých koní nebylo možné jednoznačně potvrdit či vyvrátit hypotézy, tak jak byly původně postulovány. Výsledky však přinesly řadu dílčích souvislostí a trendů. Ukazují, že do původních hypotéz je třeba promítnout nejen preferenci či asymetrii jako takovou, ale i její sílu.

Objevili jsme následující souvislosti asymetrie úhlů kopyt, postoje a pohybu koně v kroku:

- Na základě souhrnných výsledků naměřených na 23 koní můžeme konstatovat, že mají koně všeobecnou tendenci k asymetrickým kopytům a rozkročenému postoji při krmení. U většiny koní se objevila výrazně silnější preference jedné strany. Konkrétně se jednalo o větší úhel pravého kopyta, v kroku více váhy na pravé HK a delší krok levou HK. Střední stojná fáze a síla, která působila na končetinu v kroku, dosahovala u převážné části koní vyšších hodnot u pravé HK.
- Jedinci, kteří měli tupouhlejší kopyto na levé HK, stáli častěji s levou HK hlouběji pod tělem. Koně, kteří měli tupouhlejší kopyto na pravé HK, stáli preferenčně snožmo, nebo měli podkročenou pravou HK.
- Pokud bylo kopyto s větším úhlem na pravé HK, byl rozdíl mezi úhly kopyt větší. V případě, že byl větší úhel na kopytě levé HK, nebyl rozdíl mezi úhly kopyt tak výrazný. Výsledky naznačují silnější projev lateralizace u pravé HK v porovnání s levou HK.
- Koně, kteří měli v pohybu více váhy na pravé hrudní končetině, měli většinou kopyta pravidelná, nebo měli větší úhel na pravém kopytě a stáli při krmení buď snožmo (4 koně), nebo měli zakročenou levou hrudní končetinu (6 koní). V zastavení se objevuje možný mírný trend k přednostnímu zakračování opačné končetiny, než na které kůň nese v kroku více váhy.

Porozumění biomechanické podstatě motorické lateralit a vzájemným komplexním souvislostem pohybového chování jsou důležitými kroky na cestě k získání lepší způsobilosti uvážlivě rozlišovat asymetrie pohybu způsobené bolestivostí od přirozené křivosti. Až 70 % jezdeckých koní ve Švédsku, které jejich majitelé prohlásili za zdravé, vykazovalo nepravidelnosti v chodech, které překračovaly doporučené hodnoty považované za normální (Rhodin et al., 2017). Motorická lateralita proto není něco, co by se mělo přehlížet a vysvětlovat přirozeností. Studium vrozené křivosti na zdravých koních nám ulehčí rozlišování mezi patologií a funkční odchylkou, která respektuje individuální odlišnosti. Zatížení hřbetu koně jezdcem projevy motorické lateralit u koně zesiluje, je proto naší odpovědností vzdělávat se a pečovat o tělo našeho koňského partnera tak, aby mohl žít aktivní a spokojený život bez bolesti až do vysokého věku.

## 8 Literatura

- Ades, C., & Ramires, E. (2002). Asymmetry of Leg Use During Prey Handling in the Spider *Scytodes globula* (Scytodidae). *Journal of Insect Behavior*, *15*(4), 563–570. <https://doi.org/10.1023/A>
- Al-Agele, R., Paul, E., Kubale Dvojmoc, V., J. Sturrock, C., Rauch, C., & Sian Rutland, C. (2019). The Anatomy, Histology and Physiology of the Healthy and Lamé Equine Hoof. *Veterinary Anatomy and Physiology*, 3–5. <https://doi.org/10.5772/intechopen.84514>
- Anderson, D. M., & Murray, L. W. (2013). Sheep laterality. *Laterality*, *18*(2), 179–193. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2011.647919>
- Annett, M. (2002). Handedness and brain asymmetry: The right shift theory. In *Handedness and brain asymmetry: The right shift theory*. Psychology Press.
- Annett, M. (2008). The Right Shift Theory of Handedness and Brain Asymmetry in Evolution. *Cognition Brain*, *10*, 235–250. <https://pdfs.semanticscholar.org/998b/653144d17e32167fea5a613ff99b7ce85a5c.pdf>
- Ashton, G. C. (1982). Handedness: An alternative hypothesis. *Behavior Genetics*, *12*(2), 125–147. <https://doi.org/10.1007/BF01065761>
- Austin, N. P., & Rogers, L. J. (2007). Asymmetry of flight and escape turning responses in horses. *Laterality*, *12*(5), 464–474. <https://doi.org/10.1080/13576500701495307>
- Austin, N. P., & Rogers, L. J. (2012). Limb preferences and lateralization of aggression, reactivity and vigilance in feral horses, *Equus caballus*. *Animal Behaviour*, *83*(1), 239–247. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2011.10.033>
- Austin, N. P., & Rogers, L. J. (2014). Lateralization of agonistic and vigilance responses in Przewalski horses (*Equus przewalskii*). *Applied Animal Behaviour Science*, *151*, 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2013.11.011>
- Babcock, L. E. (1993). Trilobite Malformations and the Fossil Record of Behavioral Asymmetry. *Journal of Paleontology*, *67*(2), 217–229.
- Babcock, L. E., & Robison, R. A. (1989). Preferences of Palaeozoic predators. *Nature*, *337*, 695–696.
- Beking, T., Geuze, R. H., van Faassen, M., Kema, I. P., Kreukels, B. P. C., & Groothuis, T. G. G. (2018). Prenatal and pubertal testosterone affect brain lateralization. *Psychoneuroendocrinology*, *88*, 78–91. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2017.10.027>
- Bellenzani, M. C. R., Merritt, J. S., Clarke, S., & Davies, H. M. S. (2012). Investigation of forelimb hoof wall strains and hoof shape in unshod horses exercised on a treadmill at various speeds and gaits. *American Journal of Veterinary Research*, *73*(11), 1735–1741. <https://doi.org/10.2460/ajvr.73.11.1735>
- Bertram, J. E., & Gosline, J. M. (1986). Fracture toughness design in horse hoof keratin. *The Journal of Experimental Biology*, *125*, 29–47. <https://doi.org/10.1242/jeb.125.1.29>
- Bisazza, A., Cantalupo, C., Robins, A., Rogers, L. J., & Vallortigara, G. (1997). Pawedness and motor asymmetries in toads. *Laterality*, *2*(1), 49–64. <https://doi.org/10.1080/713754252>
- Bisazza, Angelo, Cantalupo, C., Capocchiano, M., & Vallortigara, G. (2000). Population lateralisation and social behaviour: A study with 16 species of fish. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, *5*(3), 269–284.

<https://doi.org/10.1080/713754381>

- Bisazza, Angelo, Pignatti, R., & Vallortigara, G. (1997). Laterality in detour behaviour: Interspecific variation in poeciliid fish. *Animal Behaviour*, *54*(5), 1273–1281. <https://doi.org/10.1006/anbe.1997.0522>
- Bowker, R. M., Van Wulfen, K. K., Springer, S. E., & Linder, K. E. (1998). Functional anatomy of the cartilage of the distal phalanx and digital cushion in the equine foot and a hemodynamic flow hypothesis of energy dissipation. *American Journal of Veterinary Research*, *59*(8), 961–968.
- Bowling, A. T., Zimmermann, W., Ryder, O., Penado, C., Peto, S., Chemnick, L., Yasinetskaya, N., & Zharkikh, T. (2003). Genetic variation in Przewalski's horses, with special focus on the last wild caught mare, 231 Orlitza III. *Cytogenetic and Genome Research*, *102*(1–4), 226–234. <https://doi.org/10.1159/000075754>
- Brama, P. A. J., TeKoppele, J. M., Bank, R. A., Barneveld, A., & Van Weeren, P. R. (2002). Biochemical development of subchondral bone from birth until age eleven months and the influence of physical activity. *Equine Veterinary Journal*, *34*(2), 143–149. <https://doi.org/10.2746/042516402776767150>
- Broca, P. P. (1861). Perte de la parole: ramollissement chronique et destruction partielle du lobe antérieur gauche du cerveau. *Bulletins de La Societe d'anthropologie*, *2*, 235–238.
- Burn, J. F., & Usmar, S. J. (2005). Hoof landing velocity is related to track surface properties in trotting horses. *Equine and Comparative Exercise Physiology*, *2*(1), 37–41. <https://doi.org/10.1079/ecp200542>
- Byrne, R. A., Kuba, M. J., & Meisel, D. V. (2004). Lateralized eye use in *Octopus vulgaris* shows antisymmetrical distribution. *Animal Behaviour*, *68*(5), 1107–1114. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2003.11.027>
- Byström, A., Clayton, H. M., Hernlund, E., Rhodin, M., & Egenvall, A. (2020). Equestrian and biomechanical perspectives on laterality in the horse. *Comparative Exercise Physiology*, *16*(1), 35–45. <https://doi.org/10.3920/cep190022>
- Byström, Anna, Clayton, H. M., Hernlund, E., Roepstorff, L., Rhodin, M., Bragança, F. S., Engell, M. T., van Weeren, R., Weishaupt, M. A., & Egenvall, A. (2021). Asymmetries of horses walking and trotting on treadmill with and without rider. *Equine Veterinary Journal*, *53*(1), 157–166. <https://doi.org/10.1111/evj.13252>
- Byström, Anna, Egenvall, A., Roepstorff, L., Rhodin, M., Bragança, F. S., Hernlund, E., Van Weeren, R., Weishaupt, M. A., & Clayton, H. M. (2018). Biomechanical findings in horses showing asymmetrical vertical excursions of the withers at walk. *PLoS ONE*, *13*(9), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204548>
- Casey, M. B. (2005). Asymmetrical hatching behaviors: The development of postnatal motor laterality in three precocial bird species. *Developmental Psychobiology*, *47*(2), 123–135. <https://doi.org/10.1002/dev.20078>
- Casperd, J. M., & Dunbar, R. I. M. (1996). Asymmetries in the visual processing of emotional cues during agonistic interactions by gelada baboons. *Behavioural Processes*, *37*(1), 57–65. [https://doi.org/10.1016/0376-6357\(95\)00075-5](https://doi.org/10.1016/0376-6357(95)00075-5)
- Chateau, H., Holden, L., Robin, D., Falala, S., Pourcelot, P., Estoup, P., Denoix, J. M., & Crevier-Denoix, N. (2010). Biomechanical analysis of hoof landing and stride parameters in harness trotter horses running on different tracks of a sand beach (from wet to dry) and on an asphalt road. *Equine Veterinary Journal*, *42*(SUPPL. 38), 488–495.

- <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2010.00277.x>
- Clayton, H. M., Gray, S., Kaiser, L. J., & Bowker, R. M. (2011). Effects of barefoot trimming on hoof morphology. *Australian Veterinary Journal*, *89*(8), 305–311. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.2011.00806.x>
- Clayton, H. M., Schamhardt, H. C., & Hobbs, S. J. (2017). Ground reaction forces of elite dressage horses in collected trot and passage. *Veterinary Journal*, *221*(January), 30–33. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2017.01.016>
- Clayton, H. M., & Sha, D. H. (2006). Head and body centre of mass movement in horses trotting on a circular path. *Equine Veterinary Journal*, *38*(SUPPL.36), 462–467. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2006.tb05588.x>
- Clayton, Hilary M. (1990). The effect of an acute hoof wall angulation on the stride kinematics of trotting horses. *Equine Veterinary Journal*, *22*(9 S), 86–90. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1990.tb04742.x>
- Clayton, Hilary M., & Hobbs, S. J. (2017). The role of biomechanical analysis of horse and rider in equitation science. *Applied Animal Behaviour Science*, *190*, 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2017.02.011>
- Colborne, G. R., Heaps, L. A., & Franklin, S. H. (2009). Horizontal moment around the hoof's centre of pressure during walking in a straight line. *Equine Veterinary Journal*, *41*(3), 242–246. <https://doi.org/10.2746/042516409X396993>
- Corballis, M. C. (2009). The evolution and genetics of cerebral asymmetry. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *364*(1519), 867–879. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0232>
- Cuk, T., Leben-Seljak, P., & Stefancic, M. (2001). Lateral asymmetry of human long bones. *Variability and Evolution*, *9*, 19–32. [http://var-and-evo.biol.uni.torun.pl/02\\_9.pdf](http://var-and-evo.biol.uni.torun.pl/02_9.pdf)
- Cully, P., Nielsen, B., Lancaster, B., Martin, J., & McGreevy, P. (2018). The laterality of the gallop gait in thoroughbred racehorses. *PLoS ONE*, *13*(6), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198545>
- Dalin, G., Magnusson, L. -E, & Thafvelin, B. C. (1985). Retrospective study of hindquarter asymmetry in Standardbred Trotters and its correlation with performance. *Equine Veterinary Journal*, *17*(4), 292–296. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1985.tb02501.x>
- Davies, H. M.S., & Watson, K. M. (2005). Third metacarpal bone laterality asymmetry and midshaft dimensions in Thoroughbred racehorses. *Australian Veterinary Journal*, *83*(4), 224–226. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.2005.tb11657.x>
- Davies, Helen M.S. (1996). The effects of different exercise conditions on metacarpal bone strains in Thoroughbred racehorses. *Pferdeheilkunde*, *12*(4), 666–670. <https://doi.org/10.21836/pem19960466>
- de Kovel, C. G. F., Carrión-Castillo, A., & Francks, C. (2019). A large-scale population study of early life factors influencing left-handedness. *Scientific Reports*, *9*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37423-8>
- Deuel, N. R., & Lawrence, L. M. (1987). Laterality in the gallop gait of horses. *Journal of Biomechanics*, *20*(6), 645–649. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(87\)90285-5](https://doi.org/10.1016/0021-9290(87)90285-5)
- Diederichsen, L. P., Nørregaard, J., Dyhre-Poulsen, P., Winther, A., Tufekovic, G., Bandholm, T., Rasmussen, L. R., & Krogsgaard, M. (2007). The effect of handedness on electromyographic activity of human shoulder muscles during movement. *Journal of*

- Electromyography and Kinesiology*, 17(4), 410–419.  
<https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2006.03.004>
- Drevemo, S., Fredricson N, I., Hjertén, G., & McMiken, D. (1987). Early development of gait asymmetries in trotting Standardbred colts. *Equine Veterinary Journal*, 19(3), 189–191.  
<https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1987.tb01373.x>
- Ducro, B. J., Bovenhuis, H., & Back, W. (2009). Heritability of foot conformation and its relationship to sports performance in a Dutch Warmblood horse population. *Equine Veterinary Journal*, 41(2), 139–143. <https://doi.org/10.2746/042516409X366130>
- Ducro, B. J., Gorissen, B., van Eldik, P., & Back, W. (2009). Influence of foot conformation on duration of competitive life in a Dutch Warmblood horse population. *Equine Veterinary Journal*, 41(2), 144–148. <https://doi.org/10.2746/042516408X363800>
- Dyhre-Poulsen, P., Smedegaard, H. H., Roed, J., & Korsgaard, E. (1994). Equine hoof function investigated by pressure transducers inside the hoof and accelerometers mounted on the first phalanx. *Equine Veterinary Journal*, 26(5), 362–366.  
<https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1994.tb04404.x>
- Dyson, S., Ellis, A. D., Mackechnie-Guire, R., Douglas, J., Bondi, A., & Harris, P. (2020). The influence of rider:horse bodyweight ratio and rider-horse-saddle fit on equine gait and behaviour: A pilot study. *Equine Veterinary Education*, 32(10), 527–539.  
<https://doi.org/10.1111/eve.13085>
- Dyson, S., & Murray, R. (2003). Pain associated with the sacroiliac joint region: A clinical study of 74 horses. *Equine Veterinary Journal*, 35(3), 240–245.  
<https://doi.org/10.2746/042516403776148255>
- Egenvall, A., Byström, A., Roepstorff, L., Rhodin, M., Weishaupt, M. A., van Weeren, R., & Clayton, H. M. (2020). Withers vertical movement asymmetry in dressage horses walking in different head-neck positions with and without riders. *Journal of Veterinary Behavior*, 36, 72–83. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2019.10.010>
- Eisersiö, M., Roepstorff, L., Rhodin, M., & Egenvall, A. (2015). A snapshot of the training schedule for 8 professional riders riding dressage. *Comparative Exercise Physiology*, 11(1), 35–45. <https://doi.org/10.3920/CEP140024>
- Eliashar, E., Mcguigan, M. P., & Wilson, A. M. (2004). *Relationship of foot conformation and force applied to the navicular bone of sound horses at the trot*. 36, 431–435.
- Esch, L., Wöhr, C., Erhard, M., & Krüger, K. (2019). Horses' (*Equus caballus*) laterality, stress hormones, and task related behavior in innovative problem-solving. *Animals*, 9(5).  
<https://doi.org/10.3390/ani9050265>
- Faramarzi, B., Lantz, L., Lee, D., & Khamas, W. (2017). *Histological and functional characterizations of the digital cushion in Quarter horses*. 909, 285–291.
- Frasnelli, E., Vallortigara, G., & Rogers, L. J. (2012). Left-right asymmetries of behaviour and nervous system in invertebrates. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36(4), 1273–1291. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.02.006>
- Fujiwara, S. I., Kuwazuru, O., Inuzuka, N., & Yoshikawa, N. (2009). Relationship between scapular position and structural strength of rib cage in quadruped animals. *Journal of Morphology*, 270(9), 1084–1094. <https://doi.org/10.1002/jmor.10744>
- Gerard, M. P. (2021). Anatomy and Physiology of the Equine Foot. *Veterinary Clinics of North America - Equine Practice*, 37(3), 529–548.

<https://doi.org/10.1016/j.cveq.2021.07.002>

- Ghirlanda, S., Frasnelli, E., & Vallortigara, G. (2009). Intraspecific competition and coordination in the evolution of lateralization. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1519), 861–866.  
<https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0227>
- Gonzalez, C. L. R., Whitwell, R. L., Morrissey, B., Ganel, T., & Goodale, M. A. (2007). Left handedness does not extend to visually guided precision grasping. *Experimental Brain Research*, 182(2), 275–279. <https://doi.org/10.1007/s00221-007-1090-1>
- Greve, L., & Dyson, S. (2016). Body lean angle in sound dressage horses in-hand, on the lunge and ridden. *Veterinary Journal*, 217, 52–57.  
<https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2016.06.004>
- Guire, R., Mathie, H., Fisher, M., & Fisher, D. (2017). Riders' perception of symmetrical pressure on their ischial tuberosities and rein contact tension whilst sitting on a static object. *Comparative Exercise Physiology*, 13(1), 7–12.  
<https://doi.org/10.3920/CEP160026>
- Gunnarsson, V., Stefánsdóttir, G. J., Jansson, A., & Roepstorff, L. (2017). The effect of rider weight and additional weight in Icelandic horses in tölt: Part II. Stride parameters responses. *Animal*, 11(9), 1567–1572. <https://doi.org/10.1017/S1751731117000568>
- HAMPSON, B. (2014). CHAPTER 26 - Training working horses. In *The Athletic Horse Principles and Practice of Equine Sports Medicine* (SECOND EDI). Elsevier Inc.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-7216-0075-8/00035-6>
- Hampson, B. A., De laat, M. A., Mills, P. C., & Pollitt, C. C. (2010). Distances travelled by feral horses in “outback” Australia. *Equine Veterinary Journal*, 42(SUPPL. 38), 582–586. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2010.00203.x>
- Hampson, B. A., Morton, J. M., Mills, P. C., Trotter, M. G., Lamb, D. W., & Pollitt, C. C. (2010). Monitoring distances travelled by horses using GPS tracking collars. *Australian Veterinary Journal*, 88(5), 176–181. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.2010.00564.x>
- Hardeman, A. M., Egenvall, A., Serra Bragança, F. M., Swagemakers, J. H., Koene, M. H. W., Roepstorff, L., van Weeren, R., & Byström, A. (2022). Visual lameness assessment in comparison to quantitative gait analysis data in horses. *Equine Veterinary Journal*, 54(6), 1076–1085. <https://doi.org/10.1111/evj.13545>
- Heaps, L. A., Franklin, S. H., & Colborne, G. R. (2011). Horizontal moment around the hoof centre of pressure during walking on right and left circles. *Equine Veterinary Journal*, 43(2), 190–195. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2010.00146.x>
- Helmich, I., Meyer, C., Voelk, M., Coenen, J., Mueller, S., Schepmann, J., & Lausberg, H. (2022). The pantomime of mental rotation: Left-handers are less lateralized. *Neuropsychologia*, 176(February), 108385.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2022.108385>
- Hepper, P. G., McCartney, G. R., & Shannon, E. A. (1998). Lateralised behaviour in first trimester human fetuses. *Neuropsychologia*, 36(6), 531–534.  
[https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(97\)00156-5](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(97)00156-5)
- Hews, D. K., Castellano, M., & Hara, E. (2004). Aggression in females is also lateralized: Left-eye bias during aggressive courtship rejection in lizards. *Animal Behaviour*, 68(5), 1201–1207. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2003.11.024>

- Hobbs, Sarah J., & Clayton, H. M. (2013). Sagittal plane ground reaction forces, centre of pressure and centre of mass in trotting horses. *Veterinary Journal*, 198(SUPPL1), e14–e19. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.09.027>
- Hobbs, Sarah Jane, Nauwelaerts, S., Sinclair, J., Clayton, H. M., & Back, W. (2018). Sagittal plane fore hoof unevenness is associated with fore and hindlimb asymmetrical force vectors in the sagittal and frontal planes. *PLoS ONE*, 13(8), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203134>
- Hobbs, Sarah Jane, Robinson, M. A., & Clayton, H. M. (2018). A simple method of equine limb force vector analysis and its potential applications. *PeerJ*, 2018(2), 1–25. <https://doi.org/10.7717/peerj.4399>
- Hood, D. M., Wagner, I. P., Taylor, D. D., Brumbaugh, G. W., & Chaffin, M. K. (2001). Voluntary limb-load distribution in horses with acute and chronic laminitis. *American Journal of Veterinary Research*, 62(9), 1393–1398. <https://doi.org/10.2460/ajvr.2001.62.1393>
- Hori, M., Nakajima, M., Hata, H., Yasugi, M., Takahashi, S., Nakae, M., Yamaoka, K., Kohda, M., Kitamura, J. I., Maehata, M., Tanaka, H., Okada, N., & Takeuchi, Y. (2017). Laterality is Universal among Fishes but Increasingly Cryptic among Derived Groups. *Zoological Science*, 34(4), 267–274. <https://doi.org/10.2108/zs160196>
- Hoso, M., Asami, T., & Hori, M. (2007). Right-handed snakes: Convergent evolution of asymmetry for functional specialization. *Biology Letters*, 3(2), 169–173. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2006.0600>
- Incel, N. A., Ceceli, E., Durukan, P. B., Erdem, H. R., & Yorgancioglu, Z. R. (2002). Grip strength: effect of hand dominance. *Singapore Medical Journal*, 43(5), 234–237. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12188074>
- Jacobs, P. J., & Oosthuizen, M. K. (2021). Laterality in the Cape mole-rat, *Georychus capensis*. *Behavioural Processes*, 185(February), 104346. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2021.104346>
- Janis, C. M., & Bernor, R. L. (2019). The evolution of equid monodactyly: A review including a new hypothesis. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7(APR), 1–19. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00119>
- Jean, D., Laverty, S., Halley, J., Hannigan, D., & Léveillé, R. (1999). Thoracic trauma in newborn foals. *Equine Veterinary Journal*, 31(2), 149–152. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1999.tb03808.x>
- Jean, D., Picandet, V., Macieira, S., Beauregard, G., D’Anjou, M. A., & Beauchamp, G. (2007). Detection of rib trauma in newborn foals in an equine critical care unit: A comparison of ultrasonography, radiography and physical examination. *Equine Veterinary Journal*, 39(2), 158–163. <https://doi.org/10.2746/042516407X166657>
- Johnston, C., & Back, W. (2006). Hoof ground interaction: When biomechanical stimuli challenge the tissues of the distal limb. In *Equine Veterinary Journal* (Vol. 38, Issue 7, pp. 634–641). <https://doi.org/10.2746/042516406X158341>
- Johnstont, C., & Drevemot, S. (2001). In vivo and in vitro heel expansion in relation to shoeing and frog pressure. *Equine Veterinary Journal*, 33, 54–57.
- Kapreli, E., Athanasopoulos, S., Papatheanasiou, M., Van Hecke, P., Kelekis, D., Peeters, R., Strimpakos, N., & Sunaert, S. (2007). Lower limb sensorimotor network: Issues of somatotopy and overlap. *Cortex*, 43(2), 219–232. <https://doi.org/10.1016/S0010->



- Kapreli, E., Athanasopoulos, S., Papathanasiou, M., Van Hecke, P., Strimpakos, N., Gouliamos, A., Peeters, R., & Sunaert, S. (2006). Lateralization of brain activity during lower limb joints movement. An fMRI study. *NeuroImage*, *32*(4), 1709–1721. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.05.043>
- Kasapi, M. A., & Gosline, J. M. (1996). Strain-rate-dependent mechanical properties of the equine hoof wall. *Journal of Experimental Biology*, *199*(5), 1133–1146. <https://doi.org/10.1242/jeb.199.5.1133>
- Klar, A. J. S. (2003). Human handedness and scalp hair-whorl direction develop from a common genetic mechanism. *Genetics*, *165*(1), 269–276. <https://doi.org/10.1093/genetics/165.1.269>
- Komárková, M., & Bartošová, J. (2013). Lateralized suckling in domestic horses (*Equus caballus*). *Animal Cognition*, *16*(3), 343–349. <https://doi.org/10.1007/s10071-012-0575-x>
- Kroekenstoel, A. M., Van Heel, M. C. V., Van Weeren, P. R., & Back, W. (2006). Developmental aspects of distal limb conformation in the horse: The potential consequences of uneven feet in foals. *Equine Veterinary Journal*, *38*(7), 652–656. <https://doi.org/10.2746/042516406X159089>
- Krueger, K., Schwarz, S., Marr, I., & Farmer, K. (2022). Laterality in Horse Training: Psychological and Physical Balance and Coordination and Strength Rather Than Straightness. *Animals*, *12*(8). <https://doi.org/10.3390/ani12081042>
- Kuhnke, S., & König von Borstel, U. (2022). A comparison of different established and novel methods to determine horses' laterality and their relation to rein tension. *Frontiers in Veterinary Science*, *9*. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.789260>
- Kummer, M., Geyer, H., Imboden, I., Auer, J., & Lischer, C. (2006). The effect of hoof trimming on radiographic measurements of the front feet of normal Warmblood horses. *Veterinary Journal*, *172*(1), 58–66. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2005.03.008>
- Kysilka, K., Rajman, J., & Vitek, Z. (2006). *Podkovářství* (první). Grada Publishing.
- Lafortuna, C. L., Reinach, E., & Saibene, F. (1996). The effects of locomotor-respiratory coupling on the pattern of breathing in horses. *Journal of Physiology*, *492*(2), 587–596. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1996.sp021331>
- Lancaster, L. S., Bowker, R. M., & Mauer, W. A. (2013). Equine hoof wall tubule density and morphology. *Journal of Veterinary Medical Science*, *75*(6), 773–778. <https://doi.org/10.1292/jvms.12-0399>
- Larose, C., Richard-Yris, M. A., Hausberger, M., & Rogers, L. J. (2006). Laterality of horses associated with emotionality in novel situations. *Laterality*, *11*(4), 355–367. <https://doi.org/10.1080/13576500600624221>
- Lawson, S. E. M., Chateau, H., Pourcelot, P., Denoix, J. M., & Crevier-Denoix, N. (2007). Effect of toe and heel elevation on calculated tendon strains in the horse and the influence of the proximal interphalangeal joint. *Journal of Anatomy*, *210*(5), 583–591. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2007.00714.x>
- Leliveld, L. M. C. (2019). From science to practice: A review of laterality research on ungulate livestock. *Symmetry*, *11*(9). <https://doi.org/10.3390/SYM11091157>
- Leśniak, K. (2013). Directional asymmetry of facial and limb traits in horses and ponies. *Veterinary Journal*, *198*(SUPPL1). <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.09.032>

- Levy, J. (1977). The Mammalian Brain and the Adaptive Advantage of Cerebral Asymmetry. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 299(1), 264–272. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1977.tb41913.x>
- Linder, K. (2016). Sensory receptors in the equine hoof. *American Journal of Veterinary Research*, 54(11), 1840–1844.
- Lucidi, P., Bacco, G., Sticco, M., Mazzoleni, G., Benvenuti, M., Bernabò, N., & Trentini, R. (2013). Assessment of motor laterality in foals and young horses (*Equus caballus*) through an analysis of derailment at trot. *Physiology and Behavior*, 109(1), 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2012.11.006>
- Luft, A. R., Smith, G. V., Forrester, L., Whittall, J., Macko, R. F., Hauser, T. K., Goldberg, A. P., & Hanley, D. F. (2002). Comparing brain activation associated with isolated upper and lower limb movement across corresponding joints. *Human Brain Mapping*, 17(2), 131–140. <https://doi.org/10.1002/hbm.10058>
- Macaire, C., Hanne-Poujade, S., De Azevedo, E., Denoix, J. M., Coudry, V., Jacquet, S., Bertoni, L., Tallaj, A., Audigié, F., Hatrisse, C., Hébert, C., Martin, P., Marin, F., & Chateau, H. (2022). Investigation of Thresholds for Asymmetry Indices to Represent the Visual Assessment of Single Limb Lameness by Expert Veterinarians on Horses Trotting in a Straight Line. *Animals*, 12(24). <https://doi.org/10.3390/ani12243498>
- Macneilage, P. F. (2013). Vertebrate whole-body-action asymmetries and the evolution of right handedness: A comparison between humans and marine mammals. *Developmental Psychobiology*, 55(6), 577–587. <https://doi.org/10.1002/dev.21114>
- Macneilage, P. F., Studdert-Kennedy, M. G., & Lindblom, B. (1987). Primate handedness reconsidered. *Behavioral and Brain Sciences*, 10(2), 247–263. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00047695>
- Marr, I., Preisler, V., Farmer, K., Stefanski, V., & Krueger, K. (2020). Non-invasive stress evaluation in domestic horses (*Equus caballus*): Impact of housing conditions on sensory laterality and immunoglobulin A. *Royal Society Open Science*, 7(2). <https://doi.org/10.1098/rsos.191994>
- Marr, Isabell, Farmer, K., & Krüger, K. (2018). Evidence for right-sided horses being more optimistic than left-sided horses. *Animals*, 8(12). <https://doi.org/10.3390/ani8120219>
- Matsuura, A., Mano, H., Irimajiri, M., & Hodate, K. (2016). Maximum permissible load for Yonaguni ponies (Japanese landrace horses) trotting over a short, straight course. *Animal Welfare*, 25(1), 151–156. <https://doi.org/10.7120/09627286.25.1.151>
- Matsuura, A., Sakuma, S., Irimajiri, M., & Hodate, K. (2013). Maximum permissible load weight of a Taishuh pony at a trot. *Journal of Animal Science*, 91(8), 3989–3996. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5540>
- Matsuura, Akihiro, Irimajiri, M., Matsuzaki, K., Hiraguri, Y., Nakanowatari, T., Yamazaki, A., & Hodate, K. (2013). Method for estimating maximum permissible load weight for Japanese native horses using accelerometer-based gait analysis. *Animal Science Journal*, 84(1), 75–81. <https://doi.org/10.1111/j.1740-0929.2012.01041.x>
- McCartney, G., & Hepper, P. (1999). Development of lateralized behaviour in the human fetus from 18 to 27 weeks' gestation. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 41(2), 83–86. <https://doi.org/10.1017/S0012162299000183>
- McGreevy, P. D., Landrieu, J. P., & Malou, P. F. J. (2007). A note on motor laterality in plains zebras (*Equus burchellii*) and impalas (*Aepyceros melampus*). *Laterality*, 12(5),

- 449–457. <https://doi.org/10.1080/13576500701275881>
- McGreevy, P. D., & Rogers, L. J. (2005). Motor and sensory laterality in thoroughbred horses. *Applied Animal Behaviour Science*, *92*(4), 337–352. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.11.012>
- McGreevy, Paul D., & Thomson, P. C. (2006). Differences in motor laterality between breeds of performance horse. *Applied Animal Behaviour Science*, *99*(1–2), 183–190. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2005.09.010>
- McManus, I. C. (1991). The inheritance of left-handedness. In *Journal of Heredity* (Vol. 2, Issue 1, pp. 19–29). <https://doi.org/10.1093/jhered/2.1.19>
- Meij, H. S., & Meij, J. C. P. (1980). Functional asymmetry in the motor system of the horse. *South African Journal of Science*, *76*(December), 552–556. [https://journals.co.za/content/sajsci/76/12/AJA00382353\\_4463](https://journals.co.za/content/sajsci/76/12/AJA00382353_4463)
- Merkies, K., Alebrand, J., Harwood, B., LaBarge, K., & Scott, L. (2020). Investigation into thoracic asymmetry in ridden horses. *Comparative Exercise Physiology*, *16*(1), 55–62. <https://doi.org/10.3920/CEP190025>
- Moleman, M., Van Heel, M. C. V., Van Den Belt, A. J. M., & Back, W. (2005). Accuracy of hoof angle measurement devices in comparison with digitally analysed radiographs. *Equine Veterinary Education*, *17*(6), 319–322. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3292.2005.tb00401.x>
- Moleman, M., van Heel, M. C. V., van Weeren, P. R., & Back, W. (2006). Hoof growth between two shoeing sessions leads to a substantial increase of the moment about the distal, but not the proximal, interphalangeal joint. *Equine Veterinary Journal*, *38*(2), 170–174. <https://doi.org/10.2746/042516406776563242>
- Murphy, J., Sutherland, A., & Arkins, S. (2005). Idiosyncratic motor laterality in the horse. *Applied Animal Behaviour Science*, *91*(3–4), 297–310. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.11.001>
- Murphy, Jack, & Arkins, S. (2008). Facial hair whorls (trichoglyphs) and the incidence of motor laterality in the horse. *Behavioural Processes*, *79*(1), 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2008.03.006>
- Murphy, Jack, & Arkins, S. (2012). Laterality and visuo-spatial ability in the equine: Functional measures of sport horse selection? *Applying Equine Science*, 159–170. <https://doi.org/10.7313/upo9781904761945.012>
- Nauwelaerts, S., Hobbs, S. J., & Back, W. (2017). A horse’s locomotor signature: COP path determined by the individual limb. *PLoS ONE*, *12*(2), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167477>
- Nissen, A. L., Andersen, P. H., Buhl, R., Kühnel, L., Sorensen, H., & Thomsen, M. H. (2016). Influence of Breaking-in and Ridden Exercise on Trunk Movement Symmetry in Young Warmblood Horses. *Veterinary Journal*, *49*, 28.
- Nissen, A. L., Andersen, P. H., Sorensen, O., Buhl, R., Kühnel, L., & Thomsen, M. H. (2016). Is Trunk Movement Symmetry before Breaking-in Predictive for Symmetry after Breaking-in of Young Horses? *Veterinary Journal*, *48*, 7–39. <https://doi.org/10.1111/evj.12529.Reasons>
- O’Grady, S. E. (2014). How to evaluate the equine hoof capsule. In *American Farriers Journal* (Vol. 59, pp. 54–61).

- O'Grady, S. E., & Burns, T. D. (2021). White line disease: A review (1998–2018). In *Equine Veterinary Education* (Vol. 33, Issue 2, pp. 102–112). <https://doi.org/10.1111/eve.13201>
- Ocklenburg, S., Metzen, D., Schlüter, C., Fraenz, C., Arning, L., Streit, F., Güntürkün, O., Kumsta, R., & Genç, E. (2022). Polygenic scores for handedness and their association with asymmetries in brain structure. *Brain Structure and Function*, 227(2), 515–527. <https://doi.org/10.1007/s00429-021-02335-3>
- Oosterlinck, M., Pille, F., Back, W., Dewulf, J., & Gasthuys, F. (2011). A pressure plate study on fore and hindlimb loading and the association with hoof contact area in sound ponies at the walk and trot. *Veterinary Journal*, 190(1), 71–76. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2010.08.016>
- Outram, A. K., Stear, N. A., Bendrey, R., Olsen, S., Kasparov, A., Zaibert, V., Thorpe, N., & Evershed, R. P. (2009). The Earliest Horse Harnessing and Milking. *Science*, 323(March), 1332–1335.
- Parks, A. (2003). Form and function of the equine digit. *Veterinary Clinicians Equine Practice*, 19, 285–307. [https://doi.org/10.1016/S0749-0739\(03\)00018-X](https://doi.org/10.1016/S0749-0739(03)00018-X)
- Payne, R. C., Veenman, P., & Wilson, A. M. (2005). The role of the extrinsic thoracic limb muscles in equine locomotion. *Journal of Anatomy*, 206(2), 193–204. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2005.00353.x>
- Pearce, G. P., May-Davis, S., & Greaves, D. (2005). Femoral asymmetry in the Thoroughbred racehorse. *Australian Veterinary Journal*, 83(6), 367–370. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.2005.tb15636.x>
- Peloso, J. G., Mundy, G. D., & Cohen, N. D. (1994). Prevalence of, and factors associated with, musculoskeletal racing injuries of thoroughbreds. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 204(4), 620–626.
- Petersen, P., Petrick, M., Connor, H., & Conklin, D. (1989). Grip Strength and Hand Dominance: Challenging the 10% Rule. *The American Journal of Occupational Therapy*, 43(7), 444–447. <https://doi.org/10.5014/ajot.43.7.444>
- Pfannkuche, K. A., Bouma, A., & Groothuis, T. G. G. (2009). Does testosterone affect lateralization of brain and behaviour? A meta-analysis in humans and other animal species. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1519), 929–942. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0282>
- Pike, A. V. L., & Maitland, D. P. (1997). Paw preferences in cats (*Felis silvestris catus*) living in a household environment. *Behavioural Processes*, 39(3), 241–247. [https://doi.org/10.1016/S0376-6357\(96\)00758-9](https://doi.org/10.1016/S0376-6357(96)00758-9)
- Pluháček, J., Olléová, M., Bartošová, J., Pluháčková, J., & Bartoš, L. (2013). Laterality of suckling behaviour in three zebra species. *Laterality*, 18(3), 349–364. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2012.687002>
- Pollitt, C. C. (2008). *Equine Laminitis Current Concepts*. Rural Industries Research and Development Corporation. <https://doi.org/10.1002/9781119169239>
- Pollitt, Christopher C. (2004). Anatomy and physiology of the inner hoof wall. *Clinical Techniques in Equine Practice*, 3(1), 3–21. <https://doi.org/10.1053/j.ctep.2004.07.001>
- Ramzan, P. H. L., & Palmer, L. (2011). Musculoskeletal injuries in Thoroughbred racehorses: A study of three large training yards in Newmarket, UK (2005–2007). *Veterinary Journal*, 187(3), 325–329. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2009.12.019>

- Randle, H., & Elworthy, E. (2006). The relationship between facial whorl direction and sidedness in ridden horses. *BSAP Occasional Publication*, 35(2005), 247–250. <https://doi.org/10.1017/s0263967x00042828>
- Rhodin, M., Egenvall, A., Andersen, P. H., & Pfau, T. (2017). Head and pelvic movement asymmetries at trot in riding horses in training and perceived as free from lameness by the owner. *PLoS ONE*, 12(4), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176253>
- Riemersma, D. J., Van Den Bogert, A. J., Jansen, M. O., & Schamhardt, H. C. (1996). Influence of shoeing on ground reaction forces and tendon strains in the forelimbs of ponies. *Equine Veterinary Journal*, 28(2), 126–132. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1996.tb01604.x>
- Ringo, J. L., Doty, R. W., Demeter, S., & Simard, P. Y. (1994). Time Is of the Essence: A Conjecture that Hemispheric Specialization Arises from Interhemispheric Conduction Delay. *Cerebral Cortex*, 4(4), 331–343. <https://doi.org/10.1093/cercor/4.4.331>
- Robbins A., Lippolis G., Bisazza A., Vallortigara G., Rogers L. (1998). Lateralized agonistic responses and hindlimb use in toads. *Animal Behaviour*, 56, 875–881.
- Rogers, C. W., & Dittmer, K. E. (2019). Does Juvenile Play Programme the Equine Musculoskeletal System? *Animals*, 1–12. <https://doi.org/10.1201/b17486>
- Rogers, L. J. (2000). Evolution of hemispheric specialization: Advantages and disadvantages. *Brain and Language*, 73(2), 236–253. <https://doi.org/10.1006/brln.2000.2305>
- Rogers, L. J. (2009). Hand and paw preferences in relation to the lateralized brain. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1519), 943–954. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0225>
- Rogers, L. J. (2010). Relevance of brain and behavioural lateralization to animal welfare. *Applied Animal Behaviour Science*, 127(1–2), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2010.06.008>
- Rogers, L. J. (2017). A matter of degree: Strength of brain asymmetry and behaviour. *Symmetry*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/sym9040057>
- Ronchetti, A., Day, P., & Weller, R. (2011). Mediolateral hoof balance in relation to the handedness of apprentice farriers. *Veterinary Record*, 168(2), 48. <https://doi.org/10.1136/vr.c5993>
- Roth, E. D. (2003). “Handedness” in snakes? Lateralization of coiling behaviour in a cottonmouth, *Agkistrodon piscivorus leucostoma*, population. *Animal Behaviour*, 66(2), 337–341. <https://doi.org/10.1006/anbe.2003.2228>
- Sankey, C., Henry, S., Clouard, C., Richard-Yris, M. A., & Hausberger, M. (2011). Asymmetry of behavioral responses to a human approach in young naive vs. trained horses. *Physiology and Behavior*, 104(3), 464–468. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2011.05.009>
- Schambourg, M. A., Laverty, S., Mullim, S., Fogarty, U. M., & Halley, J. (2003). Thoracic trauma in foals: Post mortem findings. *Equine Veterinary Journal*, 35(1), 78–81. <https://doi.org/10.2746/042516403775467478>
- Schmitz, J., Lor, S., Klose, R., Güntürkün, O., & Ocklenburg, S. (2017). The functional genetics of handedness and language lateralization: Insights from gene ontology, pathway and disease association analyses. *Frontiers in Psychology*, 8(JUL), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01144>

- Schwarz, S., Marr, I., Farmer, K., Graf, K., Stefanski, V., & Krueger, K. (2022). Does Carrying a Rider Change Motor and Sensory Laterality in Horses? *Animals*, *12*(8). <https://doi.org/10.3390/ani12080992>
- Sellke, L., Patan-Zugaj, B., Ludewig, E., Cimrman, R., & Witter, K. (2023). Comparison of Six Different Methods for Measuring the Equine Hoof and Recording of its Three-Dimensional Conformation. *Journal of Equine Veterinary Science*, *121*. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2022.104195>
- Shivley, C., Grandin, T., & Deesing, M. (2016). Behavioral Laterality and Facial Hair Whorls in Horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, *44*, 62–66. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2016.02.238>
- Siniscalchi, M., Padalino, B., Lusito, R., & Quaranta, A. (2014). Is the left forelimb preference indicative of a stressful situation in horses? *Behavioural Processes*, *107*, 61–67. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2014.07.018>
- Solodkin, A., Hlustik, P., Noll, D. C., & Small, S. L. (2001). Lateralization of motor circuits and handedness during finger movements. *European Journal of Neurology*, *8*(5), 425–434. <https://doi.org/10.1046/j.1468-1331.2001.00242.x>
- Strasser, H. (2004). *Život se zdravými kopyty: klíč k optimálnímu zdraví koně, rehabilitaci poruch pohybového aparátu a vysoce výkonnému bosému koni* (3rd ed.). Růže.
- Stroud, R., Ellis, J., & Cunliffe, C. (2016). A preliminary study to investigate the prevalence and progression of pelvic axial rotations among neonate foals. *International Journal of Veterinary Science & Technology*, *7*(5), 43. <https://doi.org/10.1136/bmj.2.3737.357>
- Sun, T., & Walsh, C. A. (2006). Molecular approaches to brain asymmetry and handedness. *Nature Reviews Neuroscience*, *7*(8), 655–662. <https://doi.org/10.1038/nrn1930>
- Thomason, J. J. (1998). Variation in surface strain on the equine hoof wall at the midstep with shoeing, gait, substrate, direction of travel, and hoof shape. *Equine Veterinary Journal. Supplement*, *26*(26), 86–95. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1998.tb05126.x>
- Thomason, Jeff J, Biewener, A. A., & Bertram, J. E. A. (1992). Surface Strain on the Equine Hoof Wall in vivo : Implications for the Material Design and Functional Morphology of the Wall. *Journal of Experimental Biology*, *166*(1), 145–168. <https://doi.org/10.1242/jeb.166.1.145>
- Thompson, K. N., Rooney, J. R., & Petrites-Murphy, M. B. (1991). Considerations on the pathogenesis of navicular disease. *Journal of Equine Veterinary Science*, *11*(1), 4–8. [https://doi.org/10.1016/S0737-0806\(06\)81238-4](https://doi.org/10.1016/S0737-0806(06)81238-4)
- Thorbergson, Z. W., Nielsen, S. G., Beaulieu, R. J., & Doyle, R. E. (2016). Physiological and Behavioral Responses of Horses to Wither Scratching and Patting the Neck When Under Saddle. *Journal of Applied Animal Welfare Science : JAAWS*, *19*(3), 245–259. <https://doi.org/10.1080/10888705.2015.1130630>
- Tomlinson, J. E., Sage, A. M., & Turner, T. A. (2003). *Ultrasonographic abnormalities detected in the sacroiliac area in twenty cases of upper hindlimb lameness. - Tomlinson, Sage, Turner - 2003. 35, 48–54.*
- Toth, N. (1985). Archaeological evidence for preferential right-handedness in the lower and middle pleistocene, and its possible implications. *Journal of Human Evolution*, *14*(6), 607–614. [https://doi.org/10.1016/S0047-2484\(85\)80087-7](https://doi.org/10.1016/S0047-2484(85)80087-7)
- Uomini, N. T. (2009). The prehistory of handedness : Archaeological data and comparative

- ethology. *Journal of Human Evolution*, 57(4), 411–419.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2009.02.012>
- Usherwood, J. R., & Smith, B. J. H. (2018). The grazing gait, and implications of toppling table geometry for primate footfall sequences. *Biology Letters*, 14(5), 2–6.  
<https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0137>
- Vallortigara, G. (2006). The evolutionary psychology of left and right: Costs and benefits of lateralization. *Developmental Psychobiology*, 48(6), 418–427.  
<https://doi.org/10.1002/dev.20166>
- Vallortigara, G., & Rogers, L. J. (2005). *Survival with an asymmetrical brain: Advantages and disadvantages of cerebral lateralization*. 28, 575–633.
- Van Heel, M. C. V., Kroekenstoel, A. M., Van Dierendonck, M. C., Van Weeren, P. R., & Back, W. (2006). Uneven feet in a foal may develop as a consequence of lateral grazing behaviour induced by conformational traits. *Equine Veterinary Journal*, 38(7), 646–651.  
<https://doi.org/10.2746/042516406X159070>
- van Heel, M. C. V., van Dierendonck, M. C., Kroekenstoel, A. M., & Back, W. (2010). Lateralised motor behaviour leads to increased unevenness in front feet and asymmetry in athletic performance in young mature Warmblood horses. *Equine Veterinary Journal*, 42(5), 444–450. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2010.00064.x>
- van Melick, N., Meddeler, B. M., Hoogeboom, T. J., Nijhuis-van der Sanden, M. W. G., & van Cingel, R. E. H. (2017). How to determine leg dominance: The agreement between self-reported and observed performance in healthy adults. *PLoS ONE*, 12(12), 1–9.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189876>
- Ventolini, N., Ferrero, E. A., Sponza, S., Chiesa, A. Della, Zucca, P., & Vallortigara, G. (2005). Laterality in the wild: Preferential hemifield use during predatory and sexual behaviour in the black-winged stilt. *Animal Behaviour*, 69(5), 1077–1084.  
<https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2004.09.003>
- Viitanen, M. J., Wilson, A. M., Mcguigan, H. P., Rogers, K. D., & May, S. A. (2003). Effect of foot balance on the intra-articular pressure in the distal interphalangeal joint in vitro. *Equine Veterinary Journal*, 35(2), 184–189.
- Waran, N. K. (1993). The behaviour of horses during and after transport by road. *Equine Veterinary Education*, 5(3), 129–132.
- Warren-Smith, A., & McGreevy, P. (2010). The use of pedometers to estimate motor laterality in grazing horses. *Journal of Veterinary Behavior: Clinical Applications and Research*, 5(4), 177–179. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2009.12.023>
- Waters, N. S., & Denenberg, V. H. (1994). Analysis of two measures of paw preference in a large population of inbred mice. *Behavioural Brain Research*, 63(2), 195–204.  
[https://doi.org/10.1016/0166-4328\(94\)90091-4](https://doi.org/10.1016/0166-4328(94)90091-4)
- Watson, K. M., Stitson, D. J., & Davies, H. M. S. (2003). Third metacarpal bone length and skeletal asymmetry in the Thoroughbred racehorse. *Equine Veterinary Journal*, 35(7), 712–714. <https://doi.org/10.2746/042516403775696348>
- Weishaupt, M. A. (2008). Adaptation Strategies of Horses with Lameness. *Veterinary Clinics of North America - Equine Practice*, 24(1), 79–100.  
<https://doi.org/10.1016/j.cveq.2007.11.010>
- Wells, A. E. D., & Blache, D. (2008). Horses do not exhibit motor bias when their balance is

- challenged. *Animal*, 2(11), 1645–1650. <https://doi.org/10.1017/S1751731108002772>
- Wells, D. L. (2003). Lateralised behaviour in the domestic dog, *Canis familiaris*. *Behavioural Processes*, 61(1–2), 27–35. [https://doi.org/10.1016/S0376-6357\(02\)00161-4](https://doi.org/10.1016/S0376-6357(02)00161-4)
- Welsh, T. P., Yang, A. E., & Makris, U. E. (2020). Musculoskeletal Pain in Older Adults: A Clinical Review. *Medical Clinics of North America*, 104(5), 855–872. <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2020.05.002>
- Whishaw, I. Q. (2015). Absence of population asymmetry in the American Quarter Horse (*Equus ferus caballus*) performing skilled left and right manoeuvres in reining competition. *Laterality*, 20(5), 604–617. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2015.1023732>
- Whishaw, I. Q., & Kolb, B. (2017). The mane effect in the horse (*Equus ferus caballus*): Right mane dominance enhanced in mares but not associated with left and right manoeuvres in a reining competition. *Laterality*, 22(4), 495–513. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2016.1219740>
- Wiggers, N., Nauwelaerts, S. L. P., Hobbs, S. J., Bool, S., Wolschrijn, C. F., & Back, W. (2015). Functional locomotor consequences of uneven forefeet for trot symmetry in individual riding horses. *PLoS ONE*, 10(2), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114836>
- Williams, D. E., & Norris, B. J. (2007). Laterality in stride pattern preferences in racehorses. *Animal Behaviour*, 74(4), 941–950. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2007.01.014>
- Williams, J. (2011). Laterality: implications for equine management and performance. *The Veterinary Nurse*, 2(8), 434–441. <https://doi.org/10.12968/vetn.2011.2.8.434>
- Wilson, G. H., McDonald, K., & O'Connell, M. J. (2009). Skeletal forelimb measurements and hoof spread in relation to asymmetry in the bilateral forelimb of horses. *Equine Veterinary Journal*, 41(3), 238–241. <https://doi.org/10.2746/042516409X395561>
- Wright, I. M. (1993). A study of 118 cases of navicular disease: radiological features. *Equine Veterinary Journal*, 25(6), 493–500. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1993.tb03000.x>
- Yu, G., Guo, J., Xie, W., Wang, J., Wu, Y., Zhang, J., Xu, J., & Li, J. (2020). Footedness predicts escape performance in a passerine bird. *Ecology and Evolution*, 10(10), 4251–4260. <https://doi.org/10.1002/ece3.6193>

#### ONLINE ZDROJE:

Kerry Ridgway. Introduction to Fascia, Laterality and the Crooked Horse Syndrome by Dr. Ridgway VOD, *Equine Integrative Medicine Based Assessment & Rehab Strategies: Seven Case Studies - with Dr. Ridgway and Manolo Mendez*. ProudHorseConnections [online] 25.5.2015 [Cit. 5.5.2022] Dostupné z:

<https://vimeo.com/ondemand/equinewellnesscourse2013/132045924>

Kerry Ridgway. Laterality: The Crooked Horse Syndrome Lecture By Dr. Ridgway, *Optimizing Your Horse's Straightness, Balance and Performance with Dr. Ridgway & Colonel Carde*. ProudHorseConnections [online] 29.3.2017a [Cit. 5.5.2022] Dostupné z:

<https://vimeo.com/ondemand/improvedhorseperformance/210492024>



Kerry Ridgway. The Causes and Biomechanics of Asymmetric Heel Heights Lecture by Dr. Ridgway, *Optimizing Your Horse's Straightness, Balance and Performance with Dr. Ridgway & Colonel Carde*. ProudHorseConnections [online] 29.3.2017b [Cit. 5.5.2022]  
Dostupné z:  
<https://vimeo.com/ondemand/improvedhorseperformance/210498938>

Technology - Hoofbeat.nl. *Frontpage - Hoofbeat.nl* [online]. Copyright © Hoofbeat [cit. 05.04.2023]. Dostupné z: <https://hoofbeat.nl/technology/>

## 9 Seznam použitých zkratek a symbolů

COP – centrum tlaku (center of pressure)

GRF – reakční síla podložky (ground reaction force)

HK – hrudní končetina

KRT – teorie Kerryho Ridgwaye

IMU – inerciální měřicí jednotka

LP – levá hrudní končetina/kopyto

LZ – levá pánevní končetina/kopyto

PP – pravá hrudní končetina/kopyto

PZ – pravá pánevní končetina/kopyto

RSF – relativní stojná fáze

SL – stojí na levé hrudní končetině

SP – stojí na pravé hrudní končetině

SS – stojí snožmo

## 10 Samostatné přílohy

### 10.1 Příloha I - Kompletní zpráva z přístroje Werkman Black/Hoofbeat

Na konci měření připraví přístroj přehlednou a detailní zprávu o naměřených hodnotách včetně jejich převedení do názorné grafické vizualizace. Výsledky jsou v angličtině. Přímou na přístroji je možné sledovat i video animace. Písemná zpráva obsahuje pouze texty a obrázky. Níže je příklad výsledků jednoho z měření koní z aktivního ustájení Mažice. Jedná se o koně měřeného v rámci diplomové práce a označovaného jako „Kůň1“. Úvodní stránka obsahuje informace: jméno koně, uživatele přístroje, místa měření, datum včetně času a jméno majitele koně (zde je uvedeno jméno autorky diplomové práce).

<b>GAIT ANALYSIS REPORT</b>	Name	Kristina Koudelova
	Date	2022-12-10 14:41:06
	Place	Mazice
	User	Kysilka Karel
	Horse	Sisi

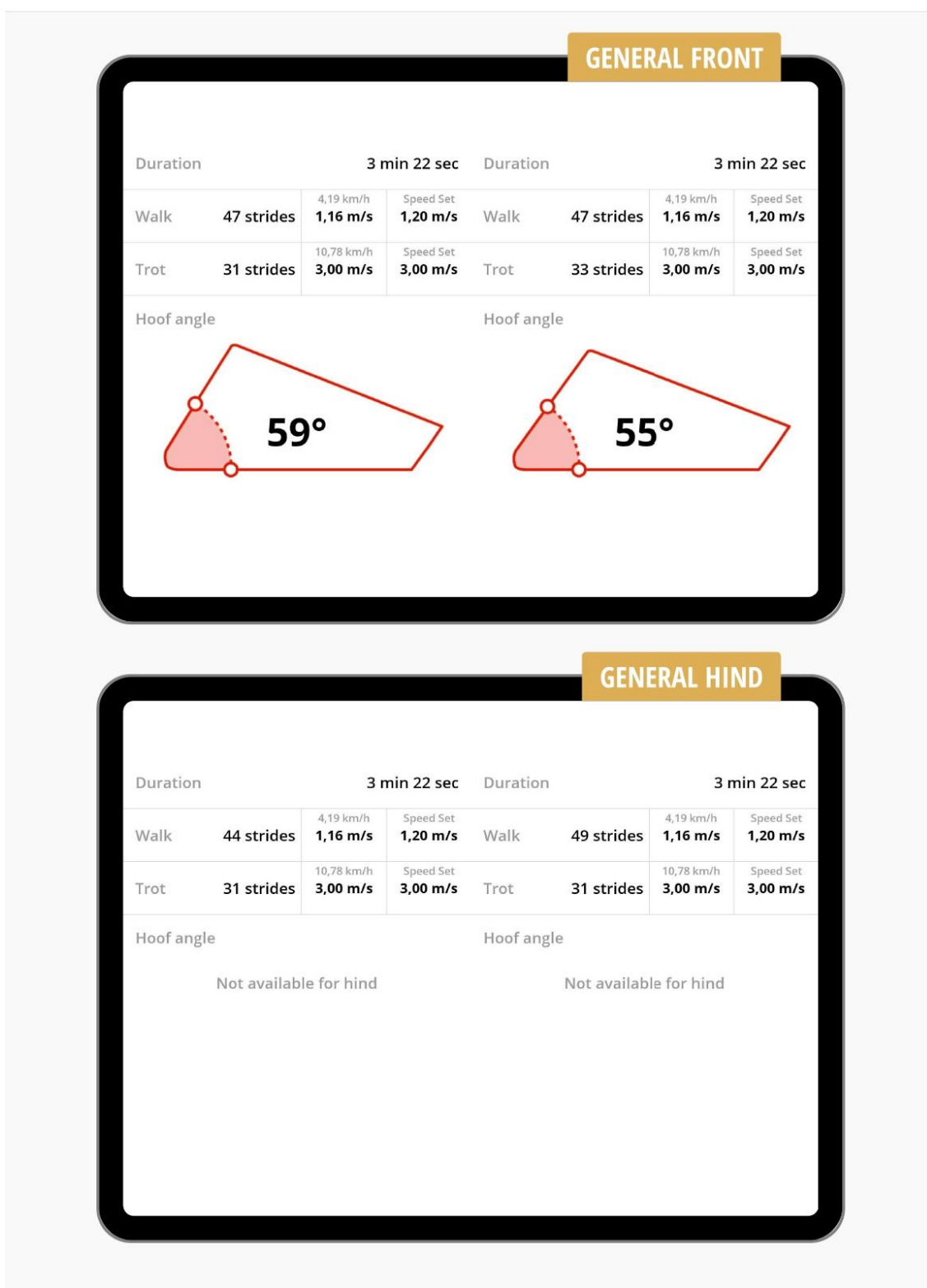
#### MEASUREMENT NOTES

This report has no notes

For more information about the content and definitions of the gait analysis report, we refer to:

<https://hoofbeat.nl/download/>

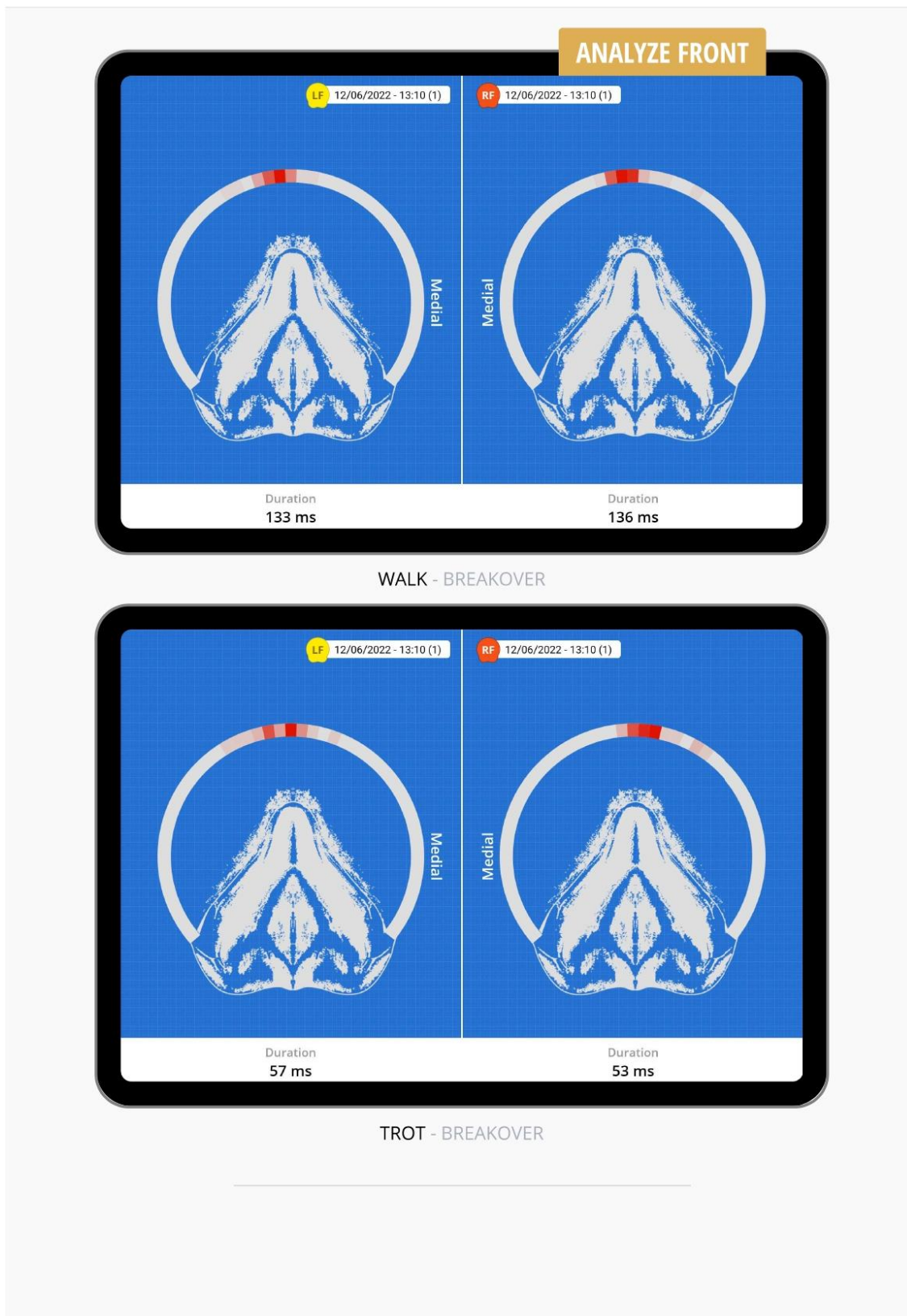
Všeobecné informace o kopytech hrudních končetin. Zaznamenány jsou úhly dorzální kopytní stěny s grafickým znázorněním. V tabulce nalezneme informace o počtu kroků v kroku a klusu v rámci měření, době trvání měření a rychlosti s jakou se kůň pohyboval.



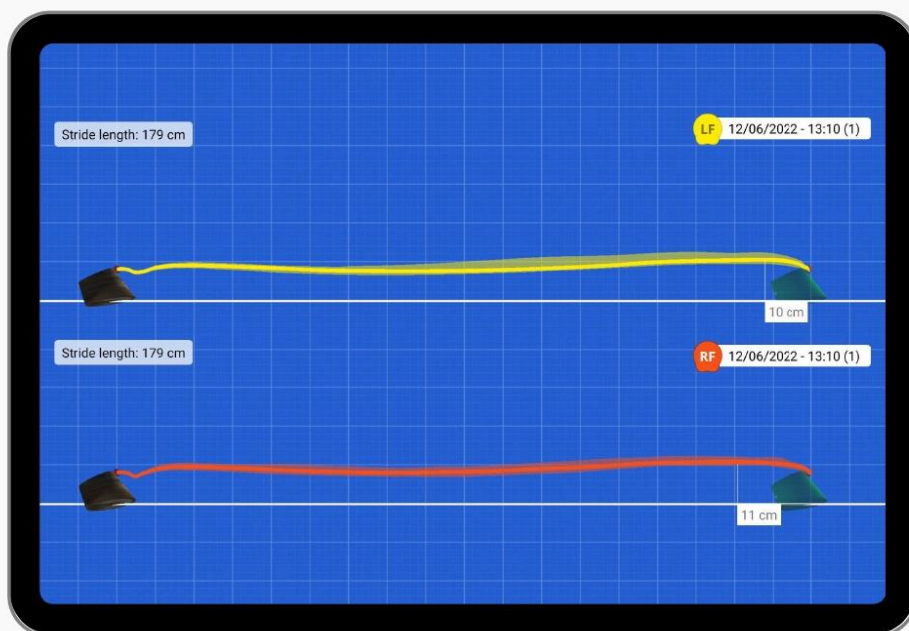
Grafické znázornění průběhu stejné fáze u jednotlivých končetin v kroku a klusu. Předkládá vizuální zhodnocení symetrie pohybu jednotlivých končetin.



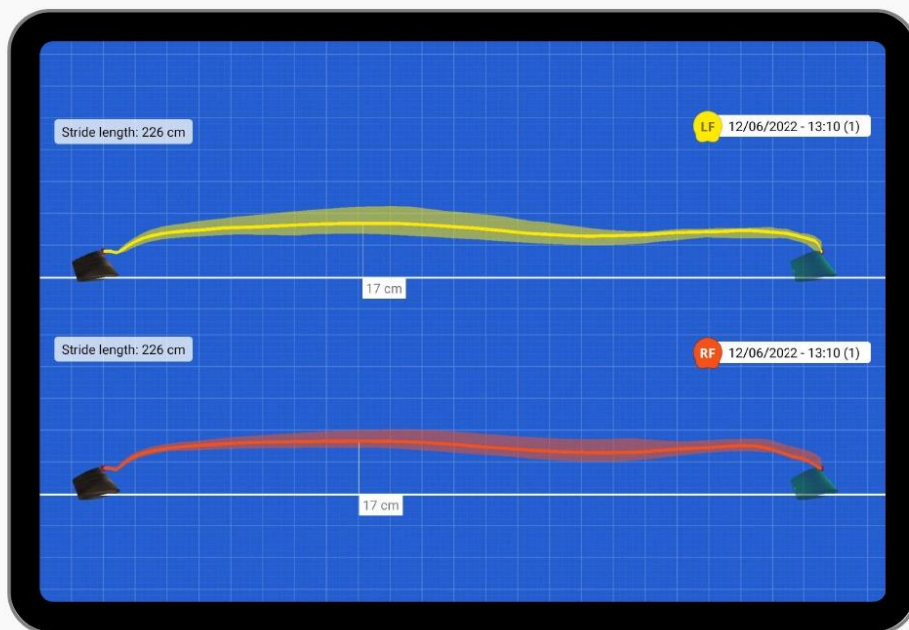
Grafická analýza s časovými údaji o době trvání překlopu jednotlivých kopyt. Červeně zbarvená místa na siluete kopyta znázorňují, v jakém místě se kopyto překlápí do letové fáze. Horní řada představuje kopyta hrudních končetin v krku. Dolní řada v klusu.



Grafické znázornění letové fáze z boku. Ukazuje délku a výšku kroku. Znázorňuje kolísání kopyta nahoru a dolů během letové fáze kroku. Horní obrázek představuje kopyta hrudních končetin v kroku, dole v klusu.

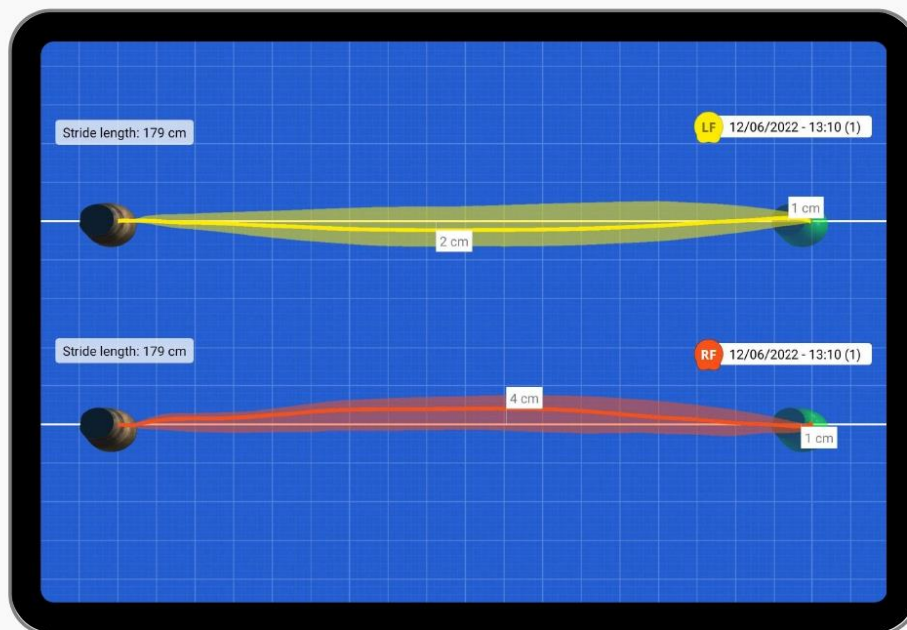


WALK - HOOF HEIGHT



TROT - HOOF HEIGHT

Grafické znázornění letové fáze pro kopyta hrudních končetin. Vyhodnocení stranové deviace (medio-laterální) v průběhu pohybu kopyta vzduchem vpřed. Nahoře krok, dole klus.



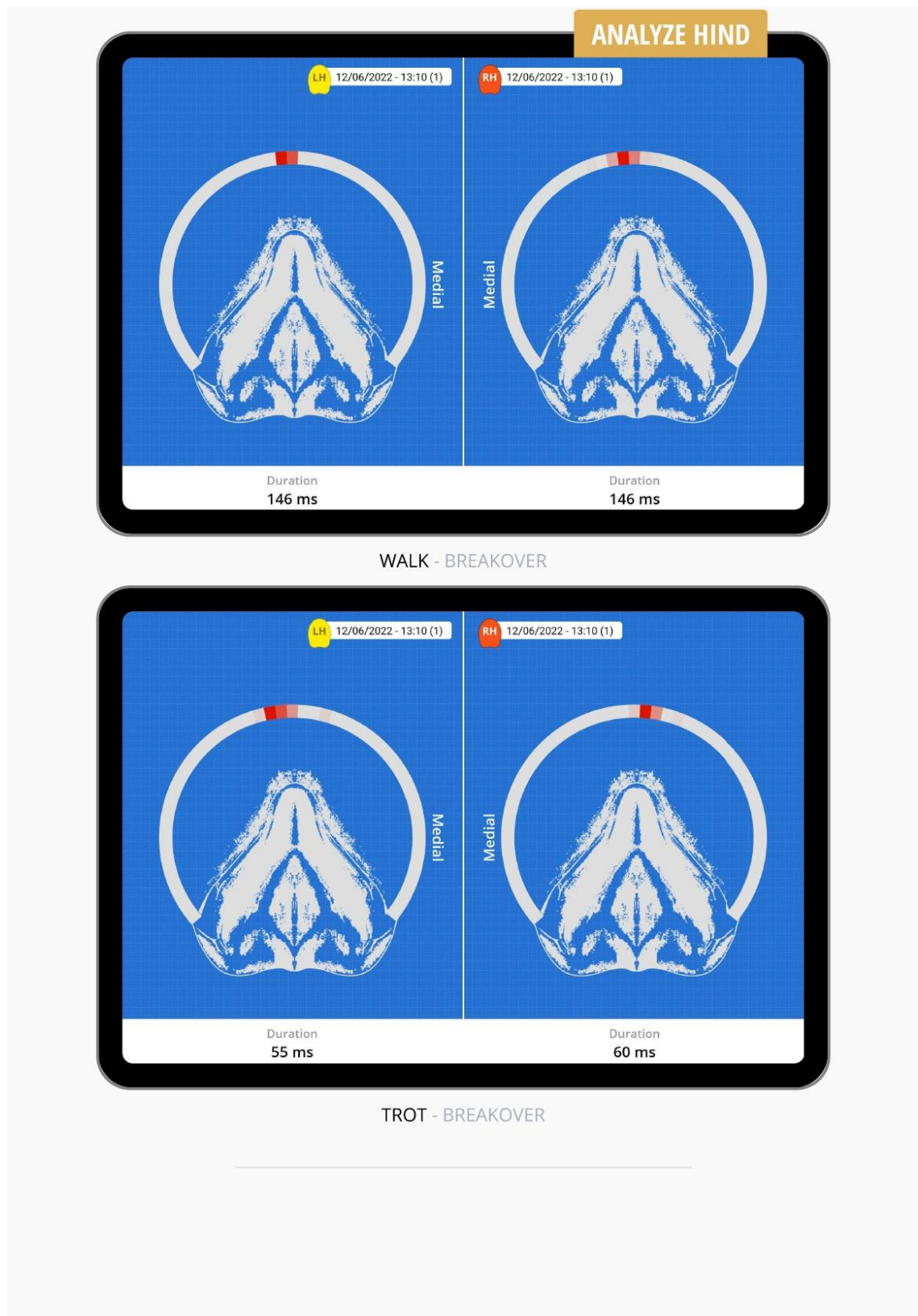
WALK - SIDEWAYS MOVEMENT



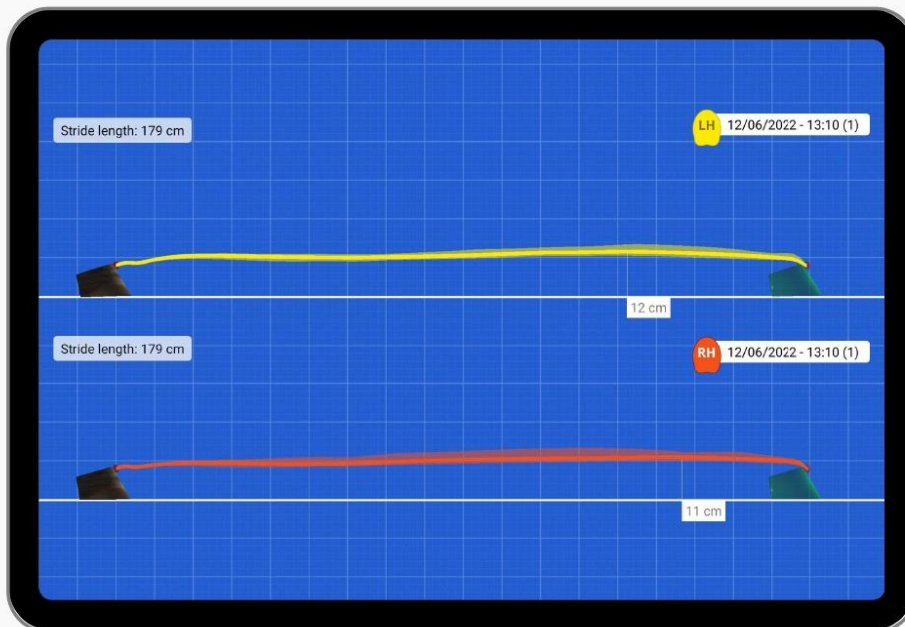
TROT - SIDEWAYS MOVEMENT



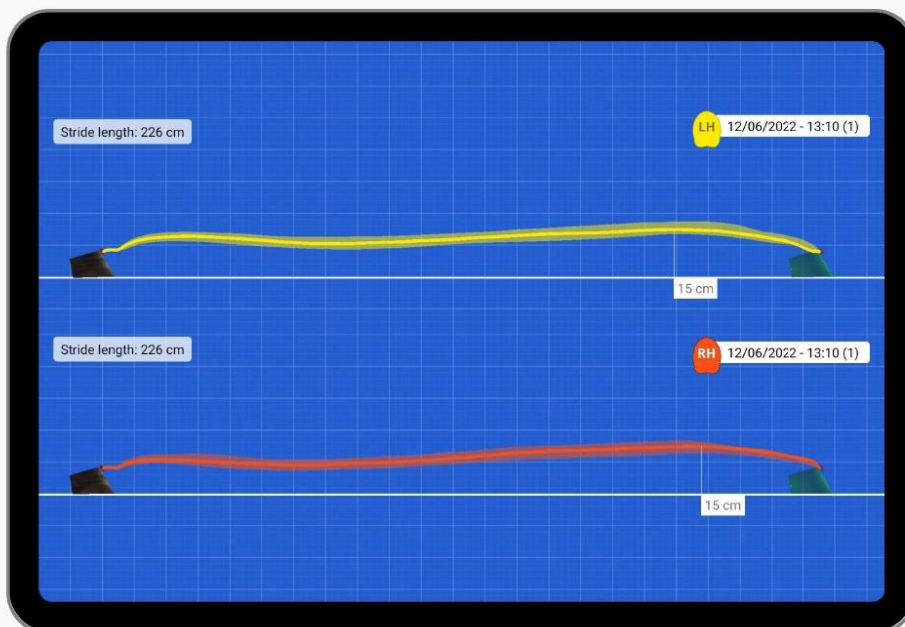
Grafická analýza s časovými údaji o době trvání překlupu jednotlivých kopyt pro pánevní končetiny. Červeně zbarvená místa na siluete kopyta znázorňují, v jakém místě se kopyto překlápí do letové fáze. Horní řada pohyb v krku, dolní řada v klusu.



Grafické znázornění letové fáze z boku. Ukazuje délku a výšku kroku. Znázorňuje kolísání kopyta nahoru a dolů během letové fáze kroku. Horní obrázek představuje kopyta pánevních končetin v kroku, dole v klusu.

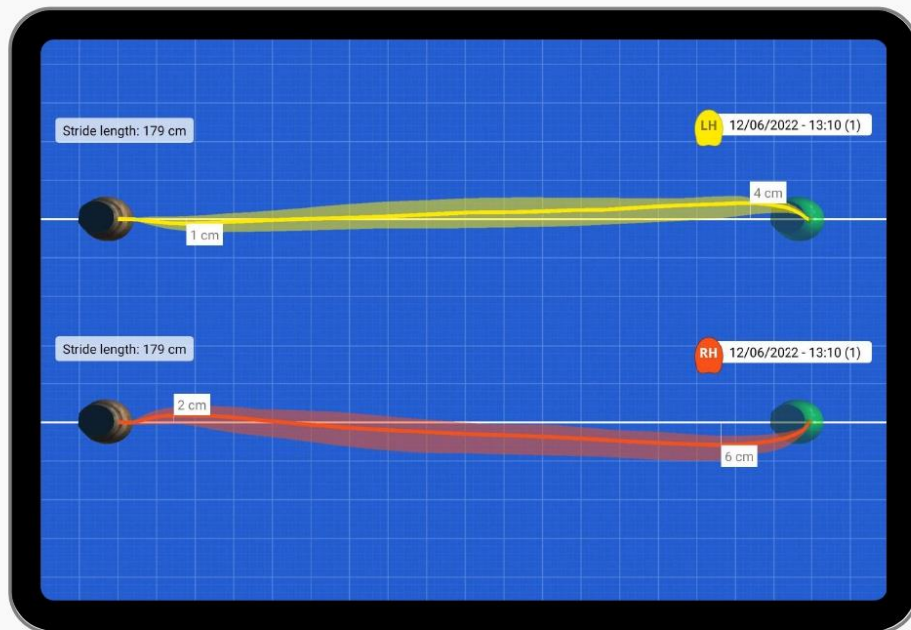


WALK - HOOF HEIGHT

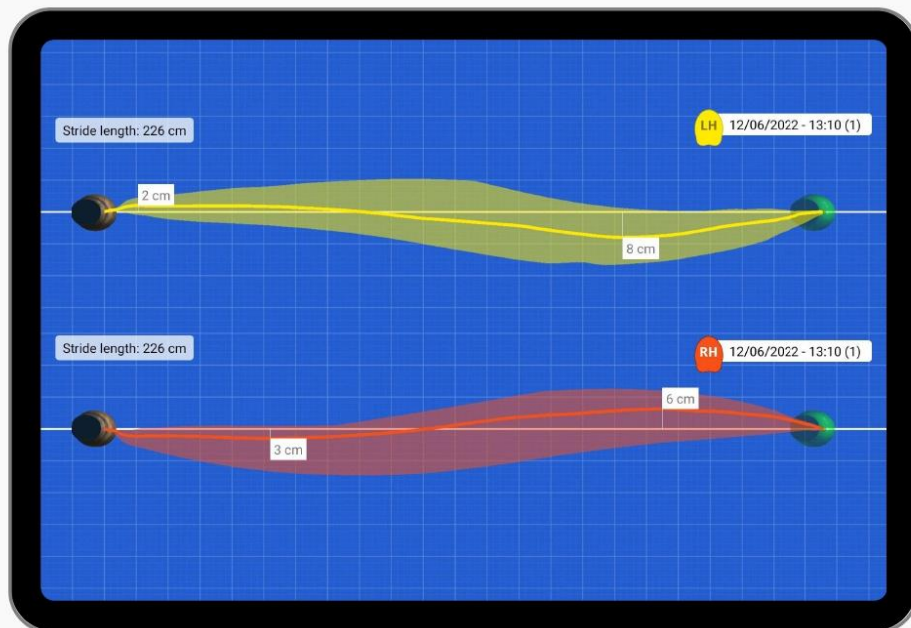


TROT - HOOF HEIGHT

Grafické znázornění letové fáze pro kopyta pánevních končetin. Vyhodnocení stranové deviace (medio-laterální) v průběhu pohybu kopyta vzduchem vpřed. Nahoře krok, dole klus.

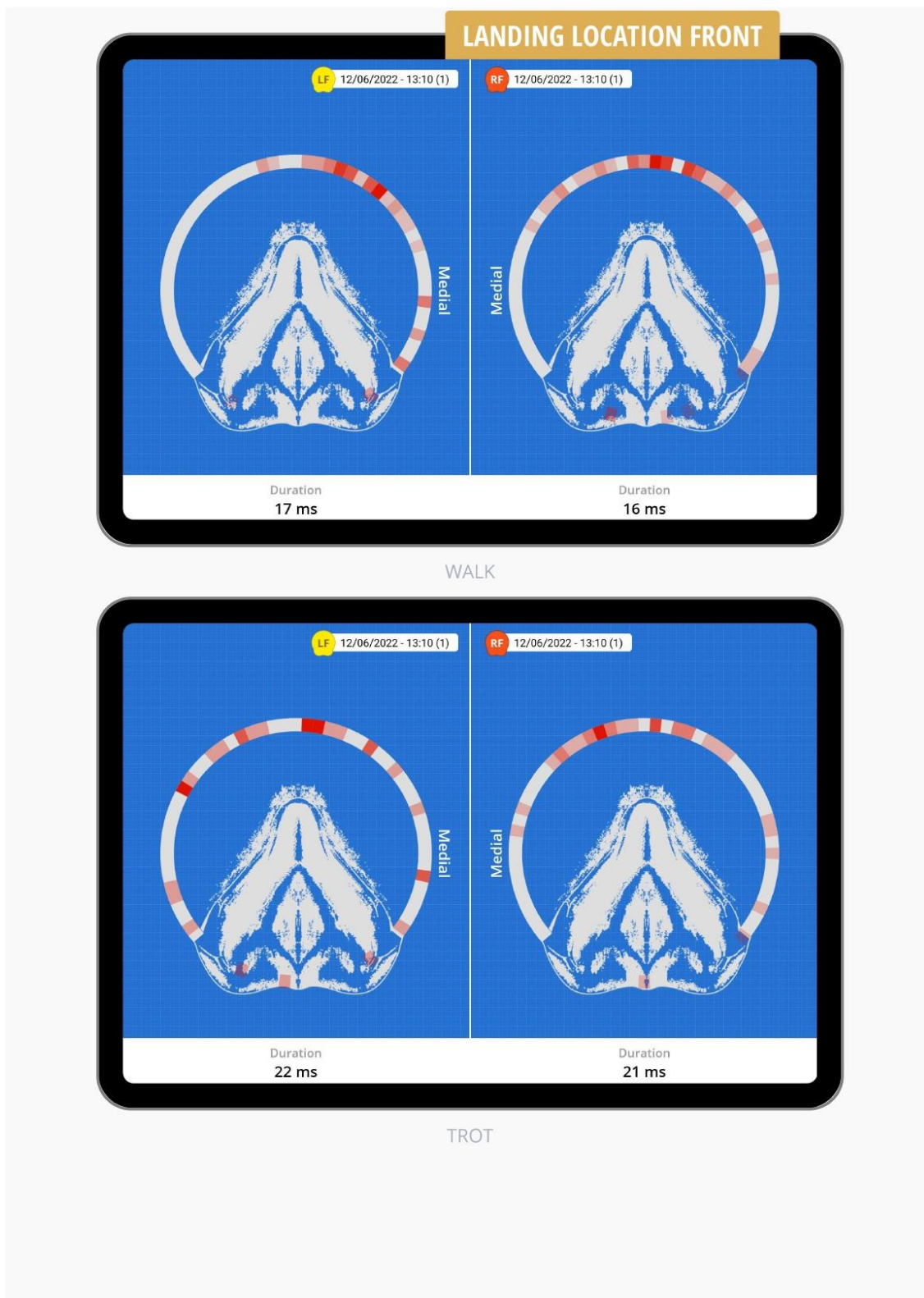


WALK - SIDEWAYS MOVEMENT

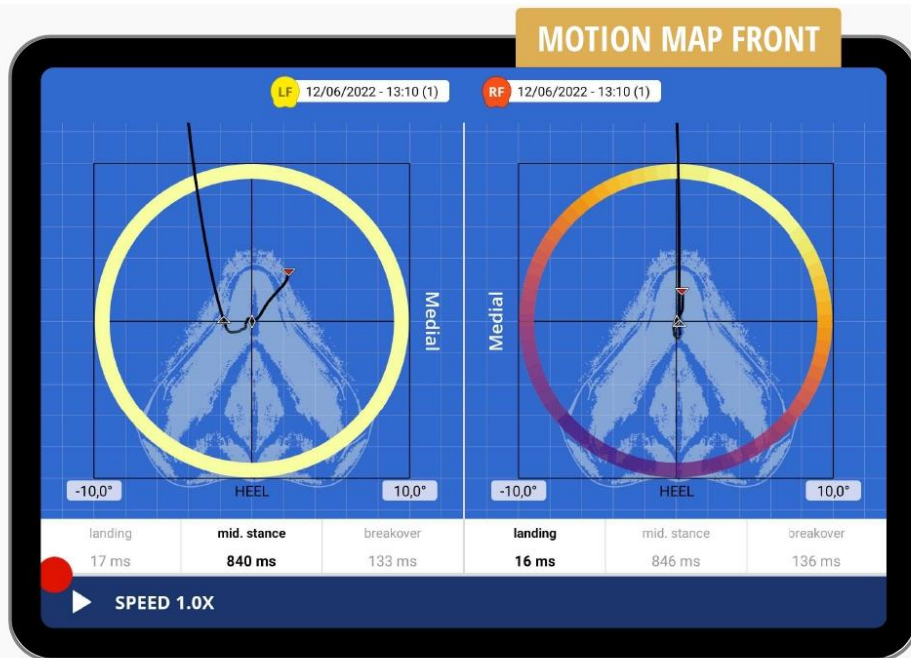


TROT - SIDEWAYS MOVEMENT

Vizuální znázornění způsobu, jakým kopyto došlapuje na zem. Červeně znázorněná míst ukazují první místa kontaktu se zemí. Sytě červená místa představují místa s nejvyšším tlakem. Vyhodnocena je i doba trvání této fáze pro jednotlivá kopyta. Nahoře kopyta hrudních končetin v kroku, dole v klusu.



Mapa pohybu („Motion Map“) ukazuje kompletní průběh stojné fáze od prvního kontaktu kopyta se zemí, jeho pohyb během střední stojné fáze a místo překlupu během překlápění do letové fáze kroku. Zahrnuje i doby trvání jednotlivých fází. Zde kopyta hrudních končetin. Nahoře krok, dole klus.

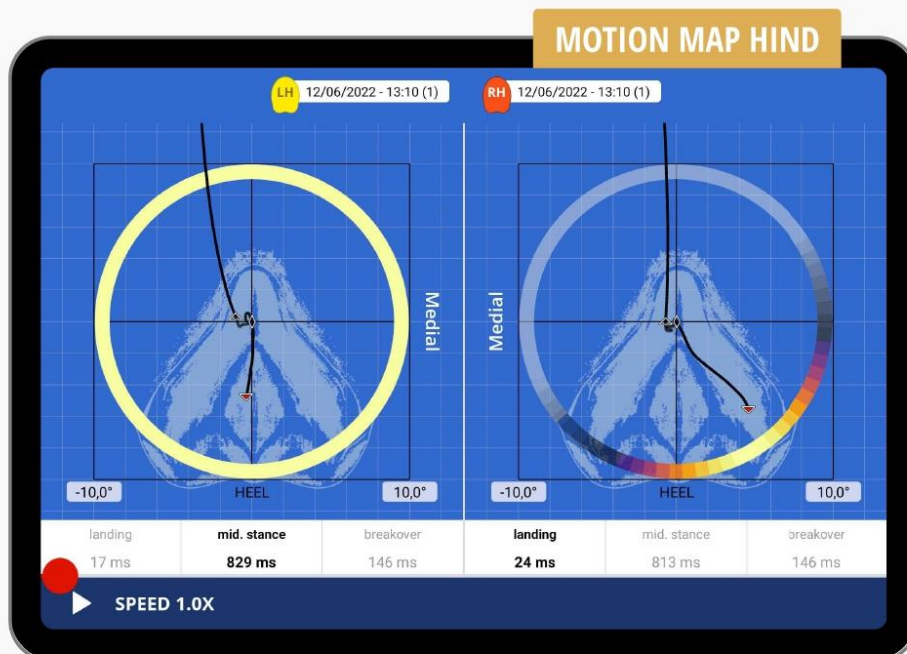


WALK

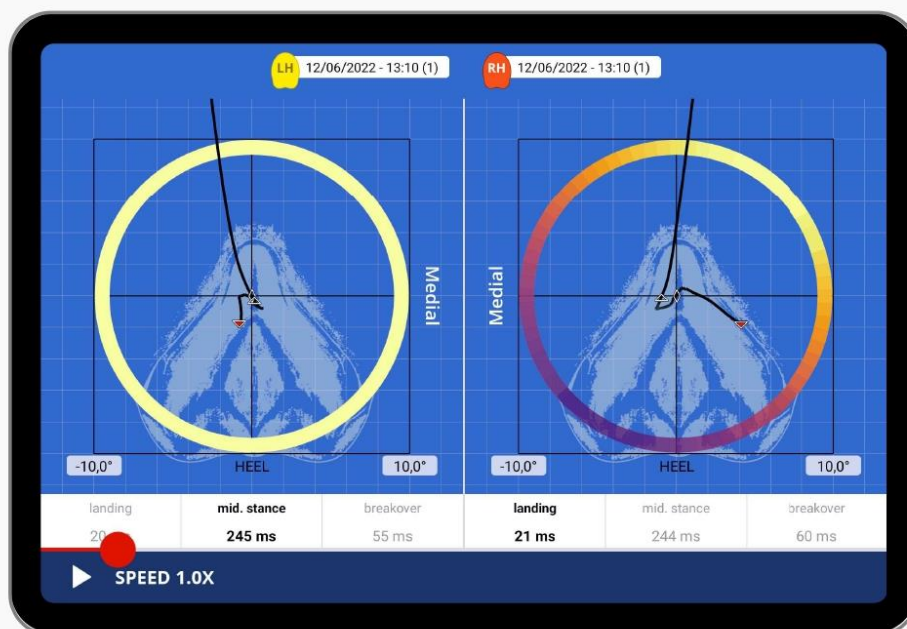


TROT

Mapa pohybu („Motion Map“) ukazuje kompletní průběh stojné fáze od prvního kontaktu kopyta se zemí, jeho pohyb během střední stojné fáze a místo překlápění během překlápění do letové fáze kroku. Zahrnuje i doby trvání jednotlivých fází. Zde kopyta pánevních končetin. Nahoře krok, dole klus.



WALK



TROT

Souhrnná tabulka s dobou trvání jednotlivých fází: střední stojná doba, překlop, došlap a letová fáze. Přístroj rovnou spočítá a prezentuje i rozdíly mezi párovými kopyty. Zahrnuta je i celková doba krokového cyklu a reletivní stojné fáze pro jednotlivá kopyta. Zde pro krok.

Sisi		mid. stance	breakover	swing	landing
LF	12/06/2022 - 13:10 (1)	840ms ±54ms	133ms ±30ms	502ms ±37ms	17ms ±16ms
RF	12/06/2022 - 13:10 (1)	846ms ±50ms	136ms ±16ms	494ms ±39ms	16ms ±27ms
Difference		-5ms	-3ms	7ms	1ms
LH	12/06/2022 - 13:10 (1)	829ms ±52ms	146ms ±14ms	499ms ±33ms	17ms ±18ms
RH	12/06/2022 - 13:10 (1)	813ms ±66ms	146ms ±22ms	509ms ±53ms	24ms ±17ms
Difference		16ms	0ms	-10ms	-6ms
Sisi		stride duration			
		1493ms			
Sisi		relative stance time			
LF	12/06/2022 - 13:10 (1)	66,4%			
RF	12/06/2022 - 13:10 (1)	66,9%			
LH	12/06/2022 - 13:10 (1)	66,6%			
RH	12/06/2022 - 13:10 (1)	65,9%			

WALK

Souhrnná tabulka s dobou trvání jednotlivých fází: střední stojná doba, překlop, došlap a letová fáze. Přístroj rovnou spočítá a prezentuje i rozdíly mezi párovými kopyty. Zahrnuta je i celková doba krokového cyklu a relativní stojné fáze pro jednotlivá kopyta. Zde pro klus.

Sisi	mid. stance	breakover	swing	landing
LF 12/06/2022 - 13:10 (1)	245ms ±68ms	57ms ±35ms	426ms ±43ms	22ms ±32ms
RF 12/06/2022 - 13:10 (1)	254ms ±33ms	53ms ±18ms	422ms ±36ms	21ms ±23ms
Difference	-9ms	3ms	3ms	1ms
LH 12/06/2022 - 13:10 (1)	245ms ±23ms	55ms ±10ms	430ms ±60ms	20ms ±22ms
RH 12/06/2022 - 13:10 (1)	244ms ±18ms	60ms ±5ms	426ms ±47ms	21ms ±23ms
Difference	1ms	-4ms	3ms	0ms
Sisi	stride duration			
	752ms			
Sisi	relative stance time			
LF 12/06/2022 - 13:10 (1)	43,3%			
RF 12/06/2022 - 13:10 (1)	43,8%			
LH 12/06/2022 - 13:10 (1)	42,7%			
RH 12/06/2022 - 13:10 (1)	43,3%			

TROT