

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra etologie a zájmových chovů**



**Fakulta agrobiologie,  
potravinových a přírodních zdrojů**

**Využití snímačů pohybu koně  
v jezdeckví a v behaviorálních vědách**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Kristýna Neubergová**

**Obor studia: Zájmové chovy zvířat**

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

**Konzultant: Ing. Klára Ničová, Ph.D.**

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Využití snímačů pohybu koně v jezdeckví a v behaviorálních vědách" 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 14.4.2022

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí mé práce doc. Ing. Jitce Bartošové, Ph.D., a Ing. Kláře Ničové, Ph.D., za veškerý věnovaný čas, cenné rady a odborné vedení při psaní mé diplomové práce. Také bych ráda poděkovala pracovníkům na Brandejsově statku, kteří se podíleli na spolupráci při probíhajícím měření. V neposlední řadě patří poděkování celé mé rodině a příteli za podporu a trpělivost.

# Využití snímačů pohybu koně v jezdeckví a v behaviorálních vědách

## Souhrn

Rozvoj moderních technologií otevřel nový směr a trend v jezdeckví. Technologie se snaží podporovat objektivní a mobilní řešení, která lze využít při výcviku koní, monitorování nebo v klinickém veterinárním kontextu, stejně jako v behaviorálních studiích a vědách. Moderní technologie nabízejí lidem nahlédnutí do dat o aktuálním stavu koně a jeho výkonu v reálném čase či s odstupem času i několika měsíců. Na trhu jsou dostupné mnohé typy senzorů a snímačů pohybu koně, které poskytují informace o kvantitě a kvalitě pohybu a průběhu tréninkové lekce či sportovní události.

Tato práce se zabývá využitím a porovnáním snímačů pohybu. Nabízí porovnání sledovaných parametrů, funkcí a jednotlivých aplikací, dále také porovnání výstupů z vybraných snímačů ve stejné situaci. Hlavním cílem diplomové práce je zhodnocení využití snímačů pro jezdce a pro vědecké účely. V rámci praktické části proběhlo celkem devět jízd během tří měření, při kterých byli koně vybaveni vybranými snímači (Equimo, Equisense). Jednotlivé jízdy byly nahrávány pomocí kamery a tyto záběry byly poté ručně analyzovány. Ze získaných dat byly následně vybrány porovnatelné proměnné, které byly shodné pro oba typy snímačů.

Vztahy mezi proměnnými, které vybrané snímače produkují jako základní výstupy (čas strávený v kroku, klusu a cvalu; práce na levou a pravou ruku) byly hodnoceny pomocí Pearsonova korelačního koeficientu. Porovnáním naměřených hodnot v kroku, klusu i cvalu je možné konstatovat, že data spolu silně korelují ( $r = 0,9$ ), při porovnání nasnímaných hodnot ze snímače Equimo a Equisense a také z analyzovaných videozáznamů. Podobné výsledky byly zjištěny z korelace mezi poměrem jízdy na levou a pravou stranu ze všech tří zdrojů dat (videozáznam, Equimo, Equisense). Průzkumová analýza dat ukázala, že data získaná pomocí snímačů Equimo a Equisense se významně neliší od hodnot získaných pomocí videozáznamů. Mimo základní hodnoty o pohybu koní je možné v aplikacích snímačů sledovat i další podrobné informace o směru pohybu koně, tempu, kadenci, elevaci, pravidelnosti, délku a výšku skoku a další. Equisense nabízí možnost měřit i srdeční tep, nicméně to nebylo z nasbíraných dat možné zhodnotit.

Data z těchto snímačů mohou sloužit nejen ke sledování výkonnosti a stavu pohybového aparátu koně, optimalizaci tréninku a snížení rizika přetížení koně tréninkem, ale mohou být také využita pro vědecké účely v oblasti tzv. *equitation science* a hodnocení welfare koní.

**Klíčová slova:** kůň, snímače pohybu, jezdeckví, behaviorální vědy, welfare

# Horse motion sensors: An overview and application in equestrianism and behavioural science

## Summary

Growing technology industry allowed the creation of a novel development trend in the field of equestrianism. These new technologies provide objective and mobile solutions which can be applied in horse training, monitoring, in the field of clinical veterinary medicine as well as in various behavioural sciences and field studies. Modern technologies enable people to inspect a data regarding the physical state of a horse and its performance in real time or even after few months have passed. There are multiple types of horse motion sensors and scanners on the market which collect the data on quantity and quality of the movement, training session or sport event.

This Master's thesis focuses on the practical use and the comparison of selected variables, functions and apps used in these devices. The outputs of the same situations collected by various sensors were also compared. The main aim of this study is to assess how these sensors can be applied in equestrianism and in the field of science. The practical part comprised of nine rides in total, during which the three measurements were carried out. Horses were equipped with the selected devices (Equimo, Equisense) during this time. The individual rides were recorded on video which enabled us to perform a manual analysis later. From the obtained data, we selected the comparable variables that were identical for both devices.

Pearson correlation coefficient was used to assess the correlation between variables that were produced by the sensing devices (time spent in walk, trot, canter; left and right hand work). The comparison of the datasets measured for walk, trot and canter clearly shows strong positive correlation between the variables ( $r = 0,9$ ) when comparing the measured values from the Equimo and Equisense sensors and also from the analyzed video recordings. Similar results were also obtained from the correlation between the left/right ratio that were collected by all three sensing devices (video recording, Equimo, Equisense). Exploratory data analysis showed that the data obtained from the Equimo and Equisense sensors did not differ significantly from the data obtained from the video recordings. Apart from the general measurements of horse motion, detailed information regarding the direction, pace, cadence, elevation, symmetry, jump length, jump height and others can be viewed in a sensing device app. Equisense allows the heart rate measurements, although in our case it was not possible to use this data for the later analysis.

Data collected by the motion sensors can be used for the purpose of performance measuring and observing the state of a horse's musculoskeletal system. Additionally, these data can be used for training optimizing and to help to reduce the risk of overworking and overtraining of a horse. Last but not least, these valuable data can be also used for scientific purposes, especially in the equitation science and in horse welfare assessment.

**Keywords:** horse, motion sensors, equestrianism, behavioural science, welfare

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Vědecká hypotéza a cíle práce</b> .....	<b>2</b>
<b>3 Literární rešerše</b> .....	<b>3</b>
<b>3.1 Biomechanika pohybu koní</b> .....	<b>3</b>
3.1.1 Základní chody koně.....	4
3.1.1.1 Krok.....	4
3.1.1.2 Klus.....	4
3.1.1.3 Cval.....	5
3.1.1.4 Další chody koní.....	5
3.1.1.5 Mimochoď.....	6
3.1.2 Charakteristiky pohybu koně.....	6
3.1.2.1 Pohyb končetin.....	6
3.1.2.2 Pohyb pánevní končetiny.....	7
3.1.2.3 Pohyb hrudní končetiny.....	7
3.1.3 Růst a vývin koní.....	8
3.1.4 Onemocnění pohybového ústrojí.....	10
<b>3.2 Výcvik koně s možným využitím snímačů</b> .....	<b>10</b>
3.2.1 Equitation science.....	12
<b>3.3 Přehled komerčních zařízení na trhu</b> .....	<b>13</b>
3.3.1 Snímače pohybu.....	14
3.3.1.1 Equimo.....	14
3.3.1.2 Equisense.....	16
3.3.1.3 Seaver.....	18
3.3.1.4 Horseteq.....	20
3.3.1.5 Equinity.....	20
3.3.1.6 Estride Tracker Pro.....	21
3.3.2 Další snímače na trhu.....	23
3.3.2.1 Chytrá ohlávka Nightwatch.....	23
3.3.2.2 Equinosis.....	23
3.3.2.3 Ipos.....	24
3.3.2.4 Polar.....	24
<b>4 Metodika</b> .....	<b>26</b>
<b>4.1 Sběr dat</b> .....	<b>26</b>
<b>4.2 Koně</b> .....	<b>26</b>
<b>4.3 Vybavení</b> .....	<b>27</b>

4.3.1	Equimo.....	27
4.3.2	Equisense .....	27
4.3.3	Polar.....	27
4.3.4	Pixio.....	27
<b>4.4</b>	<b>Analýza dat .....</b>	<b>28</b>
<b>5</b>	<b>Výsledky.....</b>	<b>29</b>
<b>5.1</b>	<b>Explorační analýza dat o základních chodech koní .....</b>	<b>29</b>
<b>5.2</b>	<b>Rozložení jízdy na levou a pravou stranu .....</b>	<b>31</b>
<b>5.3</b>	<b>Korelace mezi sledovanými proměnnými .....</b>	<b>33</b>
<b>5.4</b>	<b>Další zjištěné informace o pohybu koní .....</b>	<b>35</b>
<b>5.5</b>	<b>Hodnocení jezdcem .....</b>	<b>39</b>
<b>6</b>	<b>Diskuze.....</b>	<b>41</b>
<b>6.1</b>	<b>Zhodnocení.....</b>	<b>41</b>
<b>6.2</b>	<b>Praktické problémy snímačů .....</b>	<b>43</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>45</b>
<b>8</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>46</b>
<b>9</b>	<b>Samostatné přílohy .....</b>	<b>I</b>
<b>9.1</b>	<b>Příloha I – Podrobný popis sledovacího dne.....</b>	<b>I</b>
<b>9.2</b>	<b>Příloha II – Podrobné výsledky korelací mezi podíly jízdy na levou a pravou ruku pro jednotlivé chody koní.....</b>	<b>III</b>





# 1 Úvod

V dnešní době je viditelný trend, kdy koně nejsou již jen pracovní a pomocnou silou v zemědělství, ale jsou součástí mnohých volnočasových aktivit, stejně tak jsou koně partnery nejen hobby jezdců, ale také psychoterapeutů a fyzioterapeutů při hiporehabilitaci. Díky koním si mnozí lidé mohou také naplňovat i své sportovní ambice v nejrůznějších jezdeckých disciplínách. Současnost tak nabízí široké spektrum možností, jak trávit čas s koňmi při různých činnostech. Ať je využití koně jakékoliv, vždy koně prochází výcvikem, který trvá několik let. Během výcviku učíme koně, jak být uvolněný, pomáháme mu získat větší pohybovou flexibilitu a v neposlední řadě se výcvik zabývá schopností koně nést na svém hřbetě jezdce. Existuje mnoho směrů výcviku, které se opírají o teoretické základy v odborných knihách a spisech. Nicméně z historického hlediska jezdeckví postrádalo podporu vědecky ověřených a naměřených dat, která by mohla poskytnout objektivní důkazy o tom, zda konkrétní postupy mají pozitivní nebo negativní dopad na welfare koní (Waran & Randle 2017). V posledních letech je celosvětově viditelná tendence k hledání a zajištění vhodného přístupu ke koním (etiky) a udržitelnosti v oblasti managementu koní a jezdecké praxi (Randle et al. 2017). S rozvojem moderních technologií, se objevil trend vývoje a využití těchto technologií a senzorů v jezdeckví a sportovních jezdeckých disciplínách.

Zásadním důvodem pro využívání technologií v jezdeckví je právě možnost objektivního měření schopností koní, která lze využít při výcviku koní, monitorování nebo v klinickém kontextu (Egan et al. 2020). Pro zjištění aktuálního stavu koně a jeho výkonu jsou dostupné na trhu mnohé typy senzorů a snímačů pohybu koně, které poskytují informace o kvantitě a kvalitě pohybu a průběhu tréninkové lekce či sportovní události. Data z těchto snímačů mohou sloužit nejen ke sledování výkonnosti a stavu pohybového aparátu koně, optimalizaci tréninku a snížení rizika přetížení koně tréninkem, ale mohou být také využita pro vědecké účely a pro zlepšení welfare koní.

## 2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Snímače pohybu a polohy se v kombinaci se SMART technologiemi začínají používat i v jezdeckví. Mají velký potenciál pro zlepšení kvality pohybu, zdraví i welfare koně. Rovněž se dají využít pro vědecké účely (monitoring stavu a změn chování koně).

Cílem diplomové práce proto bylo zmapování komerčně nabízených snímačů a validace hodnot získávaných z vybraných modelů snímačů a senzorů. Práce nabízí porovnání sledovaných parametrů, funkcí a jednotlivých aplikací, dále také porovnání výstupů z vybraných snímačů ve stejné situaci. Hlavním účelem je zhodnocení využití snímačů pro jezdce a pro vědecké účely. Tato práce z povahy věci netestuje konkrétní hypotézu. Z analytického hlediska srovnává spolehlivost a shodu naměřených hodnot sledovaných parametrů. Sledované proměnné byly porovnány exaktním způsobem (analýzou videonahrávek jezdeckých lekcí).

Porovnání zjištěných hodnot naměřených mezi snímači v těchto parametrech:

- Rozpoznání jednotlivých chodů (krok, klus, cval)
- Doba/délka pohybu v jednotlivých chodech; čas strávený na pravou/levou ruku
- Pravidelnost pohybu koně (zpravidla rovnoměrnost diagonál v klusu na rovných liniích)
- Elevace, kadence
- GPS parametry – rychlost, dráha, tracking trasy
- Analýza skokové práce – počet, výška

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Biomechanika pohybu koní

Kvantitativní analýza pohybu má potenciál nabídnout objektivní a nezaujaté informace, které mohou pomoci při klinickém rozhodování. V posledních letech se objevil na trhu rostoucí počet systémů analýzy pohybu. Je však nezbytné, aby měřené proměnné, které se používají jako výstupní parametry, byly podpořeny vědeckými důkazy a jejich interpretace byla podložena správným pochopením biomechanických principů pohybu koní (Serra Bragança et al. 2018).

Výcvik koní z pohledu fyzických dovedností a schopností by měl vždy vycházet ze znalosti biomechaniky pohybu koní. Z obecného pohledu se biomechanika pohybu zabývá působením vnějších i vnitřních sil ovlivňujících pohyb těla koně. Znalost základních informací je prerekvizitou k dalšímu rozvoji těla koňského atleta. V případě koní je možné říct, že jsou jako druh velmi adaptabilní a všestranní, pokud jde o rozmanitost předváděných chodů a pohybů (Hildebrand 1965). Chod je definován cyklickým vzorem pohybu končetin, ke kterému dochází během každého kroku (Nicodemus & Clayton 2003). Jednotlivé chody mají charakteristické vzorce pohybu, který přesně určuje koordinaci končetin, která je rozeznatelná podle následnosti a časování dopadů jednotlivých končetin v určitých fázích pohybu koně (Clayton 2016). Páry končetin jsou podle Leach et al. (1984) definovány následovně:

- Diagonální pár končetin představuje přední končetina na jedné straně a zadní končetina na opačné straně těla koně.
- Ipsilaterální pár končetin tvoří přední a zadní končetinu na stejné straně.
- Kontralaterální pár končetin je přední nebo zadní končetina jedné strany a přední nebo zadní končetina na opačné straně těla koně.

Jednotlivé chody je možné rozdělit na symetrické a asymetrické. U symetrických chodů jsou pohyby pravých a levých končetin rovnoměrně rozloženy v čase, zatímco u asymetrických chodů jsou pohyby párů končetin nerovnoměrně rozloženy v čase. Mezi symetrické chody patří krok a klus, za asymetrický je považován cval (Hildebrand 1977). Nicméně do tohoto rozdělení symetrických a asymetrických typů chodů vstupuje působení tělesné a/symetrie těla koní. Jelikož koně jsou zřídka zcela symetrickí na levé a pravé straně těla (Byström et al. 2021). Asymetrie se mohou projevovat v jakémkoliv typu chodu, v pohybových vzorcích může být asymetrie anatomického nebo funkčního původu (Clayton & Hobbs 2017). Křivost koně může být způsobena zraněním, tělesnou asymetrií, nerovnoměrnou pracovní zátěží, ale může být také ovlivněna stranovou dominancí u koně (Merkies et al. 2020) či jeho jezdce (Byström et al. 2021). Také Brain & Rogers (2009) uvádí, že pohybové asymetrie mohou být důsledkem nepatologických stavů, jako je cerebrální lateralita, která se projevuje jako motorická dominance levé/pravé strany těla. Důležité je zmínit, že asymetrie a kulhání nejsou zaměnitelné pojmy (van Weeren et al. 2017). Detekce asymetrií je relevantní jak ve veterinární medicíně, tak ve sportovních jezdeckých disciplínách, zejména pak v drezuře (Byström et al. 2018). Ve studii MacKechnie-Guire et al. (2020) se pokusili kvantifikovat účinek asymetrie jezdce na pohyb koně. Naměřené změny byly obecně malé velikosti, ale jejich opakující se charakter naznačuje, že jezdci a trenéři by neměli podceňovat vliv jejich funkčních asymetrií na pohybový aparát koně (MacKechnie-Guire et al. 2020).

Kvalita chodů je významným faktorem nejen pro samotného majitele koně, ale také z pohledu chovatele, protože se jedná o jeden z hodnocených faktorů na zkouškách základního výcviku či při zařazení koně do plemenné knihy. Významnou roli hraje kvalita chodu také pro pracovní a sportovní využití koní (Barrey et al. 2001). Při hodnocení pohybu mladých koní je možné využít informace o pohybu elitních koňských sportovců a využít tyto znalosti k identifikování potenciálních budoucích šampionů nebo přiřadit jednotlivce k takové disciplíně, o níž data naznačují, že by maximalizovala jejich potenciál (Williams 2012). Znalost jednotlivých charakteristik chodů je užitečná pro hodnocení a porovnávání výkonů různých jedinců i na soutěžním obdélníku a stejně tak je zásadní pro odhalování abnormalit chodů spojených se změnou zdravotního stavu koně, například kulháním (Nicodemus & Clayton 2003).

### **3.1.1 Základní chody koně**

#### **3.1.1.1 Krok**

Krok je symetrický chod, který má laterální sled umístění kopyt a žádnou fázi vznosu (Hildebrand 1965). Během chůze se hlava koně zvedá a klesá dvakrát v každém kroku (Clayton & Hobbs 2017). Hlava a krk pomáhají lehkým pohupováním udržovat rovnováhu (Higgins & Martin 2009). Jedná se o čtyřdobý chod, ve kterém se kopyta v kroku dotýkají země v následujícím pořadí (Clayton & Hobbs 2017):

1. Pravá Zadní (PZ) – 2. Pravá Přední (PP) – 3. Levá Zadní (LZ) – 4. Levá Přední (LP)

Rytmus chůze by měl být pravidelný a časový interval mezi jednotlivými údery kopyt by měl být stejný (Nicodemus & Clayton 2003). Při kroku je jedno kopyto vždy ve vzduchu, zatímco ostatní tři jsou na zemi, až na moment, kdy kůň přesouvá váhu z jedné končetiny na druhou (Higgins & Martin 2009). V drezuře se více dbá na jednotlivé chody a krok je možné dále kategorizovat dle míry shromáždění a délky jednotlivých kroků. Drezurní koně by měli udržovat pravidelný čtyřdobý rytmus při střídání mezi shromážděným, středním a prodlouženým krokem (Nicodemus & Clayton 2003).

#### **3.1.1.2 Klus**

Klus je dvoudobý symetrický chod, ve kterém jsou pohyby diagonálních párů končetin synchronizovány a jsou od sebe odděleny fází vznosu (Clayton 1994b). Protože je klus symetrický chod, došlapy kontralaterálních končetin jsou rovnoměrné v čase (Hildebrand 1965). Klus je nejdůležitějším chodem pro hodnocení kvality pohybu koně a pro detekci kulhání (Back & Clayton 2013). V klusu má jezdec na výběr ze tří stylů jízdy, a to klus v plném sedu (bez vasedání), lehký klus (jezdec vasedá na každý druhý krok koně) a klus ve stehenním sedu (de Cocq et al. 2013). Doba trvání fáze vznosu a vertikální rozsah pohybu se zvyšují s rychlostí klusu (Clayton 1994b). Higgins & Martin (2009) uvádí pořadí, ve kterém se kopyta v klusu dotýkají země následovně:

1. PZ a LP – fáze vznosu – 2. LZ a PP – fáze vznosu

Drezurní koně provádějí čtyři odlišné typy klusu, které se vyznačují jak různým stylem, tak rychlostí pohybu; uvedeno v pořadí se zvyšující se rychlostí se jedná o shromážděný klus, pracovní klus, střední klus a prodloužený klus (Clayton 1994b). Nejpřirozenější je pracovní klus, kdy zadní kopyta koně dopadají do stop předních nebo je přešlapují. Hlezna jsou aktivní a impulzivnost vychází ze zádě. Shromážděný klus je velmi aktivní klus. Krk koně je zvednutý a klenutý, rámec koně je zkrácený a většinu hmotnosti nese zád'. Kroky koně jsou kratší než v ostatních klusech a hlezna aktivně pracují. Při středním klusu jde kůň vpřed s volnými a mírně prodlouženými kroky, impulzivnost vychází ze zádě. Rámec koně je kulatější než v prodlouženém klusu, ale je delší než u klusu pracovního. Prodloužený klus je vyvážený chod s dlouhými kroky a maximálně dlouhou fází vznosu, váha je přesunuta více na zád' a rámec je natažený (Clayton 1994b).

### 3.1.1.3 Cval

Jedná se o třídobý, asymetrický chod složený z jednotlivých skoků (Clayton & Hobbs 2017). Cval je charakteristický kývavým pohybem těla (Clayton & Hobbs 2017). Pořadí, ve kterém se kopyta ve cvalu dotýkají země, je podle Higgins & Martin (2009) následující:

na levou nohu: 1. PZ – 2. LZ a PP – 3. LP – 4. fáze vznosu

na pravou nohu: 1. LZ – 2. PZ a LP – 3. PP – 4. fáze vznosu

U drezurních koní jsou požadovány 4 typy cvalu, které se liší jak stylem, tak svojí rychlostí; uvedeno v pořadí se zvyšující se rychlostí se jedná o shromážděný, pracovní, střední a prodloužený cval (Clayton 1994a). Nejpřirozenější je pracovní cval, který je charakteristický pravidelnými, lehkými, vyrovnanými skoky a zřetelnou fází vznosu. U shromážděného cvalu jsou kroky kratší, krk je zdvižený a vyklenutý. Rámec koně je mírně zkrácený s vahou více na zádi. Střední cval představuje rovnovážný cval, kde by skoky měly být dlouhé a pravidelné. Při prodlouženém cvalu kůň prodlužuje délku kroku na maximum, zatímco zachovává stejný rytmus. Rámec koně se prodlužuje, hlava a krk se snižují, nos směřuje dopředu (Higgins & Martin 2009).

### 3.1.1.4 Další chody koní

#### 3.1.1.4.1 Trysk

S rostoucí rychlostí cvalu se kontakty páru diagonálních končetin oddělují, což vede k čtyřdobému rytmu, ve kterém se vedoucí zadní končetina dotýká země před diagonální přední (Clayton & Hobbs 2017). Trysk je stejně jako cval asymetrický chod (Back & Clayton 2013). Pořadí, ve kterém se kopyta v trysku dotýkají země, uvádí Higgins & Martin (2009) následovně:

na levou nohu: PZ: LZ : PP : LP : fáze vznosu

na pravou nohu: LZ : PZ : LP : PP : fáze vznosu

### 3.1.1.5 Mimochoď

ČJF (2018) popisuje mimochoď jako stav, kdy kůň kráčí souběžně stejnostrannými končetinami. Jedním z typů mimochoďů je tölt, který je typickým chodem u islandských koní. Jedná se o čtyřdobý laterální chod, který je spojován s klusem (Biknevicius et al. 2006).

### 3.1.2 Charakteristiky pohybu koně

Dle ČJF (2018) je akce definována jako způsob a výška zvedání předních končetin, akce může být nízká, střední či vysoká. Česká jezdecká federace kadenci popisuje jako počet kroků nebo cvalových skoků za určitou časovou jednotku (ČJF 2018). Kmih je výsledkem odrazové energie zadních končetin (ČJF 2018). Ruch ČJF (2018) označuje jako tempo určitého chodu. Pravidelnost chodu dle Duška et al. (2011) znamená střídání končetin, aniž by byla některá pohybová fáze prodloužena či zkrácena. Prostornost chodu závisí na odrazové síle zadních končetin a posuzuje se podle délky vykročení (Dušek et al. 2011). Délka kroku udává vodorovnou vzdálenost ve směru pohybu mezi dvěma stopami téže končetiny (Back & Clayton 2013).

#### 3.1.2.1 Pohyb končetin

Muskuloskeletální systém koně je vysoce vyvinutý a specializovaný, umožňující tomuto velkému zvířeti toulat se rozsáhlou krajinou při vyhledávání potravy a dosahování vysokých rychlostí již od velmi raného věku (Hodgson et al. 2013). Všechny pohyby, od švihnutí ocasem až po nejtěžší drezurní pohyby, jsou vyvolány komplikovaným systémem kosterního svalstva. Všichni koně, bez ohledu na plemeno, velikost či věk, mají stejné uspořádání svalstva, ale některé svaly mohou být u určitých koní vyvinuty více / lépe v závislosti na jejich výcviku (Pilliner et al. 2002). Rozeznáváme dvě základní skupiny svalů, a to svaly s delšími vlákny, které se zapojují do pohybu a svaly s kratšími vlákny, které se podílejí na držení těla (Clayton 2016). Kosterní svaly vytvářejí pohyb působením skrze klouby. Tyto svaly jsou obvykle uspořádány do protilehlých skupin, které provádějí opačné akce a poskytují hladké a rovnoměrné pohyby (Pilliner et al. 2002). V dolní části končetiny (od karpu dolů) nemá kůň žádné svaly a veškerý pohyb v této oblasti se provádí prostřednictvím šlach, které jsou připojené ke svalům výše (Pilliner et al. 2002). Denoix (2014) uvádí, že svaly mohou pracovat na konkrétním pohybu třemi různými způsoby:

- Izometrická kontrakce je kontrakce svalů bez kloubní mobilizace a v koňských disciplínách je poměrně neobvyklá. Mají za následek stabilizaci a kontrolu kloubů během cvičení.
- Koncentrická kontrakce je kontrakce, při které dochází ke zkrácení svalu.
- Excentrická kontrakce je kontrakce, při které se sval postupně natahuje.

Pohyb končetiny lze rozdělit do dvou fází, a to fáze podpěru a kmihu. Během fáze podpěru je končetina v kontaktu se zemí a podpírá váhu koně. Ve fázi kmihu se končetina posouvá dopředu (Denoix 2014). Protrakce označuje zhoupnutí končetiny při kroku dopředu a odtlačení končetiny dozadu se označuje jako retrakce (Higgins & Martin 2009).

### 3.1.2.2 Pohyb pánevní končetiny

Pánevní končetiny nesou asi jen 43 % tělesné hmotnosti koně (Back & Clayton 2013). Funkcí kostry pletenců a volných kostí pánevní končetiny je podepírat hmotnost koně, posouvat jej dopředu a udržovat rovnováhu (Pilliner et al. 2002). Protrakce pánevní končetiny začíná v kyčli a vede stehenní kost, koleno a hlezno dopředu. Svaly, které vedou dolů přední částí stehenní kosti končetinu ohýbají, zdvihají a v protrakci posouvají dopředu (Denoix 2014). Svaly, které v protrakci posouvají končetinu vpřed, jsou následující:

- Velký bedrovec, malý bedrovec a sval kyčelní společně ohýbají kyčel a lumbosakrální spojení (Payne et al. 2005).
- Napínač široké povázky je hlavní ohybač kyčelního kloubu, ve spolupráci s dalšími svaly natahuje koleno a posouvá končetinu dopředu (Budras et al. 2012).
- Čtyřhlavý sval stehenní pomáhá při podpoře a stabilizaci kolenního kloubu (Back & Clayton 2013), funguje jako ohybač kyčelního kloubu a jako natahovač v kloubu kolenním (Payne et al. 2005; Budras et al. 2012).
- Třetí lýtkový sval ohýbá hlezno, když je pokrčené koleno (Budras et al. 2012).
- Postranní natahovač prstu a dlouhý natahovač prstu ohýbají hlezno a klouby dolní části končetiny (Payne et al. 2005).

Činnost kolenních a hlezenních kloubů spojuje tzv. reciproční systém (Budras et al. 2012). Tento systém je zodpovědný za pasivní stabilizaci zadních končetin ve stoje (Back & Clayton 2013). Díky zvláštnímu zapojení svalů a vazů se koleno a hlezno pohybují v tandemu, v případě, že se ohne koleno, dochází i k ohnutí hlezna a když se koleno natáhne, otevře se i hlezno. Reciproční aparát je pro koně jedinečný a je ilustrací adaptace na vysokou rychlost, skládá se z třetího svalu lýtkového a povrchového ohybače, které fungují jako šlachy (Denoix 2014). Retrakce začíná v okamžiku, kdy končetina došlápne na zem. Silné svaly zadě končetinu natáhnou a tělo přes ni posunou dopředu. Když se končetina od země odpoutává, tak se pánev narovná a kyčel společně s kolenem a hlezem se otevírají a natahují. V porovnání se stavem, kdy by byly klouby uzavřené (ohnuté), je vytvořená energie účinněji přenesena do hřbetu, kde se energie posouvá dopředu podél hřbetního svalového řetězce (Denoix 2014). Svaly, které končetinu v retrakci natahují, jsou následující:

- Hýžd'ovce, které natahují kyčel a křížo-kyčelní spojení (Denoix 2014). Hýžd'ové svaly tvoří většinu svalové hmoty, která dává zadním končetinám charakteristický zaoblený vzhled (Pilliner et al. 2002).
- Svaly zadní části stehna (dvojhlavý sval stehenní, pološlašitý sval a poloblatitý sval) fungují jako natahovače kyčle a hlezna (Payne et al. 2005; Budras et al. 2012).
- Dvojhlavý sval lýtkový, který natahuje hlezno (Payne et al. 2005).
- Povrchový ohybač prstu ohýbá hlezno a klouby dolní části končetiny (Budras et al. 2012).

### 3.1.2.3 Pohyb hrudní končetiny

Hrudní končetiny u stojícího koně nesou asi 55-60 % tělesné hmotnosti (Budras et al. 2012). Zatížení předních končetin je 1,16× až 1,52× větší než končetin zadních (Dušek et al. 2011). Přední končetiny slouží nejen jako tlumiče nárazů (Pilliner et al. 2002), mezi další

funkce předních končetin patří podpora tělesné hmoty, dále se podílejí na udržování rovnováhy a směru (Clayton 2016). Koně nemají klíční kost, namísto toho jsou přední končetiny připojeny k tělu šlachami, povázkami a skupinou svalů (Back & Clayton 2013). Délka a úhlení lopatky určuje sklon ramene koně a délku kroku (Pilliner et al. 2002). Při výběru sedla je důležité počítat s klouzavým pohybem lopatky a je nutné, aby sedlo lopatku nijak neomezovalo v pohybu (Dyson et al. 2015).

Protrakce hrudní končetiny začíná v ramenou a vede kost pažní, kost vřetenní a kost loketní směrem dopředu. V první části fáze jsou klouby ohnuté, v pozdější fázi se rozevrou a narovnají a jsou připraveny na dotyk se zemí (Denoix 2014). Svaly, které posunují hrudní končetinu dopředu během protrakce jsou:

- Ramenní zvedač hlavy, který funguje jako natahovač ramene (Payne et al. 2004).
- Podhřebenový sval natahuje ramenní kloub (Budras et al. 2012).
- Sval pažní funguje jako ohybač loketního kloubu (Budras et al. 2012).
- Dvouhlavý sval pažní je ohybač loketního kloubu (Watson & Wilson 2007).
- Vřetenní natahovač zápěstí natahuje kolenní kloub (Budras et al. 2012).
- Společný natahovač prstu a postranní natahovač prstu mají dlouhá vlákna a dlouhé šlachy (Brown et al. 2003), společně natahují koleno a spodní část končetiny (Budras et al. 2012).

Ve chvíli, kdy se kopyto dotkne země, tak svaly na zadní straně končetiny, a zejména nejširší sval zádový vedoucí z oblasti ramen až na hřbet, začínají končetinu táhnout zpět v retrakci (Denoix 2014). Svaly, které přitahují končetinu zpět během retrakce, jsou:

- Nejširší sval zádový, který má hlavní roli v retrakci končetiny (Payne et al. 2004), natahuje kost pažní zpět (Denoix 2014).
- Podhřebenový sval ohýbá a stabilizuje ramenní kloub (Budras et al. 2012).
- Sval deltový ohýbá ramenní kloub (Denoix 2014).
- Trojhlavý sval pažní natahuje loketní kloub a ohýbá kloub ramenní (Watson & Wilson 2007).
- Napínač předloketní povázky, který natahuje kloub loketní (Budras et al. 2012).
- Vřetenní ohýbač zápěstí funguje jako ohybač zápěstního kloubu (Budras et al. 2012).
- Hluboký ohybač a povrchový ohybač prstu ohýbají zápěstní kloub a spodní část končetiny (Budras et al. 2012).

### 3.1.3 Růst a vývin koní

Koně dosahují 97 % své dospělé výšky již kolem 2 let (Rogers et al. 2021), nicméně žádný kůň není kosterně vyzrálý před 5,5 rokem, kdy dochází ke kompletnímu uzavření růstových plotének (Bennett 2008). Obecně platí, že rozdíly v době uzavření růstových plotének se zdají být minimální mezi různými plemeny i přes jejich velké rozdíly ve velikosti v dospělosti (Strand et al. 2007; Rogers et al. 2021). Jediným způsobem, jak skutečně zjistit, zda kůň dosáhl své kosterní zralosti, je pozorování růstových plotének pomocí rentgenových snímků, zda jsou již ploténky uzavřené (Strand et al. 2007). Kosti koně osifikují ve směru od země nahoru, první osifikují kopytní kosti a jako poslední osifikuje páteř koně (Bennett



2008). Právě proto by práce s koněm měla jít v souladu s načasováním vývoje kostry a neměla by být založena jen na velikosti a vnějším vzhledu koně. Výcvik koně by tak měl probíhat s ohledem na osifikační křivku koně (Bennett 2008). V současné době je nedostatek srovnatelných údajů o koních, zejména ve vztahu k axiálnímu skeletu, aby bylo možné definitivně identifikovat, kdy je dosaženo vrcholu kosterní zralosti koně. Nejrobustnější data jsou bohužel zaměřena spíše na distální končetiny než na oblast bederní páteře koně (Rogers et al. 2021).

Z pohledu behaviorální definice druhu jsou koně adaptovaní na rychlý běh a dlouhé přesuny v otevřené krajině (Rogers et al. 2021). Již během krátké doby po narození jsou hříbata schopna lokomotorické aktivity (Rogers & Dittmer 2019). Díky tomu jsou již pár minut po porodu schopná následovat pohyb koní ve stádě spolu se svou matkou. U hříbat se v raném věku také objevuje spontánní lokomotorická hra, která má zřejmou souvislost s rozvojem pohybových schopností (Rogers & Dittmer 2019).

V neodborné literatuře zaměřené na výcvik koní se často diskutuje o věku, ve kterém by měla být zahájena práce s koněm a následně jeho uvedení do dostihů či jiné jezdecké sportovní disciplíny. K optimalizaci welfare a dlouhověkosti koní v dostizích a sportu je důležité sladit trénink koní s vývojem muskuloskeletálního systému a jeho schopností reagovat na zátěž (Rogers et al. 2021). Zranění muskuloskeletálního systému je u koní časté a obvykle vyplývá z chronických patologických změn v osteochondrálních tkáních (Kawcak et al. 2001). Zranění pohybového aparátu mohou vést k vyřazení koně z tréninku po dobu léčení, předčasného odchodu do důchodu kvůli závažnosti onemocnění a v některých případech i k eutanázii (Kawcak et al. 2010). Tyto problémy jsou nejvíce patrné u závodních koní, neboť jsou vystaveni vysokému nárazovému zatížení v relativně mladém věku (Perkins et al. 2005). Výzkum ve studiích Kawcak et al. (2010) a Rogers et al. (2012) ukazuje, že přiměřené množství cvičení může být pro mladé koně prospěšné, protože buduje silnější kosti a odolnější šlachy. Neexistuje žádný přesný recept na optimalizaci zdraví pohybového aparátu, existuje však řada studií, které poskytují určitý rámec (Rogers et al. 2012). Tyto úvahy potenciálně otevírají nové cesty ke snížení vysoké míry zranění u výkonnostních koní aplikací specifických cvičebních postupů v raném věku (Rogers et al. 2008).

Lepeule et al. (2013) ve své studii uvádí, že současné praktiky dostihů a výcviku dvouletých koní jsou v souladu s vývojovým potenciálem koní a evolučním naprogramováním. Oproti tomu Bennett (2008) uvádí, že koně by neměli být obsedáni před čtvrtým rokem, neboť může dojít k poškození páteře, která ještě zcela neosifikovala. Neznamená to, že by se s koněm nemělo do té doby pracovat, podle Bennett (2008) je vhodné s koněm do jeho čtyř let pracovat ze země na řadě věcí, například:

- Hříbě zvykáme na doteky, později na ohlávku a vodítko. Následuje vodění, uvázání, práce s tlakem.
- Hříbě seznamujeme s neobvyklými situacemi, učíme ho nebát se, vyvarovat se útěkovým reakcím.
- Kůň by měl respektovat osobní prostor, reagovat na hlasové povely/přivolání.
- Zvykáme koně na podsedlovou dečku, sedlo, podbřišník, případně udidlo.
- Učíme koně nastupovat do přepravníku.

### 3.1.4 Onemocnění pohybového ústrojí

Jedním z obvyklejších problémů, které hojně řeší majitelé koní a jejich jezdcí, je kulhání. Stupeň kulhání může být hodnocen kvalitativně vizuálním hodnocením nebo kvantitativně pomocí inerciálního senzorového systému. Nejčastěji se kulhání vyhodnocuje v klusu koně po rovném tvrdším povrchu (Clayton 2016). Senzory se připojují na středová místa (např. týl, kohoutek, střední oblast zádě) a na jednu nebo více končetin k identifikaci sekvence pohybu končetin. Porovnává se minimální a maximální vertikální poloha středových značek a jejich výchylky na pravém a levém diagonálním páru končetin (Clayton 2016). Pomocí vzoru asymetrie software určí, která končetina kulhá nejvíce a přiřadí kulhání skóre (Keegan 2007).

Cílem studie Mora-Carreno et al. (2014) bylo identifikovat a charakterizovat hlavní nemoci spojené s kulháním u chilských rodeo koní. Výsledky studie ukázaly, že nejčastější diagnózy byly: desmitida mezikostního vazů (14 %), osteoartróza tarzálního kloubu (13,2 %), podtrochlóza (8,8 %), laminitida (7,9 %), tenditida hlubokého ohybače prstu (7 %) a osteoartróza spěnkového kloubu (6,1 %). Dyson (2002) ve své studii uvádí nejčastější zdravotní problémy u jednotlivých jezdeckých disciplín následovně:

- Drezura – desmitida mezikostního svalu, poranění závěsného aparátu, degenerativní onemocnění centrodistálních a tarzometatarzálních kloubů, synovitida karpů, aj.
- Parkur – desmitida přídatného vazů hlubokého ohybače prstu na přední končetině, tenditida hlubokého a povrchového ohybače prstu na přední končetině, desmitida mezikostního vazů, tenosynovitida DFTS, aj.
- Všestrannost – desmitida a poranění závěsného aparátu, zátěžová rhabdomyolýza, tenditida povrchového ohybače prstu, traumatická artritida spěnkového kloubu, degenerativní onemocnění centrodistálních a tarzometatarzálních kloubů, tenosynovitida DFTS, aj.

## 3.2 Výcvik koně s možným využitím snímačů

Ať je využití koní jakékoliv, koně vždy absolvují několikaletý výcvik, při kterém se s nimi pracuje jak na fyzických dovednostech, tak na psychických schopnostech (McLean & Christensen 2017). Jiný výcvikový plán bude sestaven pro skokového koně a jiný pro vytrvalostního, vždy by se však mělo vycházet ze znalostí anatomie a vývoje těla koní, abychom zamezili možnému přetížení jednotlivých tělesných struktur a stejně tak i psychického stavu zvířete (Hodgson et al. 2013). V jezdeckví do celého procesu vstupuje i role jezdce. Pro zajištění dobrých výsledků v rámci vztahu mezi člověkem a koněm je nezbytné zvážit psychologii koně a jeho emocionální zapojení (Baragli et al. 2015). Jezdci a trenéři by měli brát pečlivě v úvahu všechny faktory ovlivňující welfare jejich koní, zejména v raných fázích výcviku, kdy jsou psychologická pravidla učení zvířat zásadní pro rozvoj vyváženého vztahu s lidmi jak pro samotnou jízdu na hřbetě koně, tak pro základní účely běžné manipulace (Baragli et al. 2015). Vzhledem k tomu, že koně nejsou schopni verbalizovat své emoce a bolest, je značná odpovědnost kladena právě na jezdce, aby zajistili optimální welfare a zdraví koně. Lepší pochopení složitosti partnerství koně a jezdce prostřednictvím vzdělávání jezdců a vědecky podloženého školení by mohlo usnadnit lepší výkon, podpořit zdraví a welfare koní a vytvořit tak šťastné a úspěšné partnerství mezi koňmi a lidmi (Williams & Tabor 2017).

Jedním z možných snímačů využívaných pro výcvik koní je například snímač měřící napětí na otěži. Napětí otěži je poměrně snadno měřitelné a výsledná data jsou užitečná pro vyhodnocení interakce mezi koněm a jezdcem, v současné době existuje několik k tomu určených komerčně dostupných systémů (Clayton et al. 2021). Použití tlaku přes udidlo je součástí tréninkových metod v mnohých jezdeckých disciplínách. Napětí otěži označuje sílu vyvíjenou na otěže mezi koněm a člověkem (Dumbell et al. 2019). Dumbell et al. (2019) uvádí, že pochopení účinků těchto sil má potenciál pro výzkum v oblasti výkonu jezdců a welfare koní. Velká síla, která působí na hubu koně, může koni způsobit bolest, nepohodlí či orální léze (Clayton et al. 2021). Používání nadměrného napětí otěží během jezdeckví je ústředním bodem debat o welfare koní (McLean & McGreevy 2010). Výsledky jedné ze studií zabývající se tímto tématem uvádí, že u všech jezdců levá otěž vykazovala větší napětí než pravá a upozorňují na potřebu většího povědomí o této problematice (Hawson et al. 2014).

Trénink sportovních koní má obecně za cíl zvýšit jejich úroveň výkonu a zároveň se vyhnout zranění a také chránit fyzickou a duševní pohodu koně (Eisersiö et al. 2015). Od přírody jsou koně nadaní atleti, kteří jsou schopni podstoupit podstatné adaptace v reakci na trénink (Hodgson et al. 2013). Hlavním cílem výcviku je připravit koně na náročnost atletických soutěží tak, aby se snížilo riziko zranění a došlo ke zvýšení pracovní kapacity a výkonu koní (Hodgson et al. 2013). Využití koní pro atletické soutěže zahrnuje kondiční a tréninkový plán pro konkrétní typy výkonů (Castejon-Riber et al. 2017). Výběr jednotlivců a tréninkové strategie jsou pro koňské sportovce založeny převážně na subjektivním úsudku a empirických tradičních tréninkových metodách (Smith et al. 1999). Kůň musí být držen zdravý a ideálně nebyť podtrénovaný nebo přetrénovaný, na soutěžích by měl být prezentován bez onemocnění (ať už respirační, svalové, aj.), které by mohlo snížit nebo omezit výkon (Evans 2000). Příprava koně na jakýkoli druh soutěže zahrnuje kombinaci zlepšování fyzické kondice a učení/trénink. Učení rozvíjí nervosvalovou koordinaci a duševní disciplínu, zatímco zlepšování kondice navozuje fyziologické a strukturální adaptace, které maximalizují výkon a udržují zdraví koně (Clayton 1991). Existují dva hlavní aspekty, které bychom měli brát v úvahu při výcviku koně, a to: 1) zdatnost kardiovaskulárního a respiračního systému a 2) zdatnost muskuloskeletálního systému (Hodgson et al. 2013). Obecně je fitness definováno jako schopnost dokončit požadované množství fyzické aktivity bez známek únavy, stresu a zranění. Hlavní čtyři složky fitness jsou síla, rychlost, vytrvalost a flexibilita, dále je pro výkon koně důležitá koordinace, hbitost a rovnováha (Castejon-Riber et al. 2017). Cíle tréninku by měly být individuální pro každého jednotlivce a specifické pro každou disciplínu (Castejon-Riber et al. 2017), existují však některé základní cíle, které jsou podle Rose & Evans (1990) následující:

- Minimalizace výskytu zranění nebo metabolických poruch.
- Zlepšení nebo udržení maximální výkonnosti, příprava koně pro soutěže.
- Oddálení nástupu únavy.
- Zlepšení dovedností nebo pracovní kapacity.
- Udržet si ochotu a nadšení koně pro výcvik.

Li et al. (2019) uvádí, že analýza interakce mezi jezdcem a koněm pomocí nositelných senzorů je slibným nástrojem pro monitorování jezdeckého tréninku. Například studie Norton et al. (2018) prokázala potenciál sledování stresu pro posouzení vhodnosti koní u jízdni policie a potenciálně i v jiných oblastech. Khelifi et al. (2017) uvádí, že pro trenéra nebo majitele je

klíčové, aby si byl vědom vitálních funkcí a kondice koně, k čemuž může pomoci jimi využívaný snímač pro měření srdečního tepu koně. Progresivní trénink koní se zaměřuje na svalový rozvoj a flexibilitu na pravou i levou stranu (Merkies et al. 2020), dobrým pomocníkem při takovém tréninku mohou být právě snímače pohybu.

### 3.2.1 Equitation science

Jedním z průkopníků využívající a spolupracující na vývoji a optimalizaci snímačů a senzorů je samostatný vědní obor Equitation science (ES). Ten je založený na průkazných datech a vědecky ověřených faktech, ze kterých vychází přístup k jezdeckví a tréninku koní, který se zaměřuje na důkladné porozumění jak etologii koní, tak teorii učení (Starling et al. 2016). ES se snaží vyhodnotit vztah koně a člověka, shromáždit vědecké důkazy, které mohou zlepšit výcvik, výkon a welfare jezdeckých koní (Pierard et al. 2015). Kůň, který byl vycvičen pomocí jasných, konzistentních signálů a efektivním posilováním, bude spolupracovat ochotněji, bude se lépe vyrovnávat se sociálními změnami a změnami prostředí a následně bude i bezpečnější při manipulaci během veterinární prohlídky nebo při vyšetření novým majitelem/trenérem (Doherty et al. 2017). ES se snaží uplatnit vědecky získaná data v tréninku a jízdě na koni pro zlepšení bezpečnosti a životní pohody jak koní, tak jezdců (Starling et al. 2016). Vědce z oblasti ES sdružuje International Society for Equitation Science (Mezinárodní společnost pro equitation science, ISES). Členové ISES zpracovali desatero výcvikových postupů pro práci s koněm. Jsou následující:

1. Trénujte koně v souladu s jejich etologií a kognicí.
2. Používejte správně teorii učení.
3. Trénujte snadno rozlišitelné signály.
4. Tvarujte reakce a pohyby koně.
5. Vyvolávejte reakce jednu po druhé, nikoli současně.
6. Cvičte jen jednu odpověď na určitý signál.
7. Vytvářejte konzistentní návyky.
8. Cvičte přetrvávání odpovědi (sebenesení).
9. Vyhýbejte se útěkovým reakcím, odstraňujte je.
10. Udržujte nejmenší možné napětí dostačující pro výcvik (ISES 2018).

Jezdci a trenéři mohou být touto cestou vedeni k práci s koňmi způsoby, které jsou v rámci kognitivních schopností daného druhu (Mills 1998). To je obzvláště důležité, neboť koně a lidé mají různé kognitivní schopnosti (Starling et al. 2016). Lidé mají tendence přenášet lidské vlastnosti na zvířata, což může vést k nerealistickým očekáváním o tom, jak rychle je kůň schopen učit se (McGreevy et al. 2009). Potenciálním nebezpečím je skutečnost, že jezdci/trenéři často předpokládají, že kůň přesně ví, co člověk chce. Tento předpoklad umožňuje lidem vydávat nejasné podněty, které mohou vést k frustraci, pokud kůň nedosahuje požadovaných výsledků (Goodwin et al. 2009; McGreevy et al. 2009). Následkem může být špatně interpretované chování koně jako úmyslně neposlušné, v tu chvíli trenéři často přistupují k trestu, aby takové chování napravili (Goodwin et al. 2009). Behaviorální reakce koní se vyvinuly tak, aby se koně byli schopni vyhnout bolesti, nepohodlí a predátorům (McGreevy 2007). Trest pravděpodobně negativně ovlivní welfare koně, může ale také přesměrovat soustředění koně na hledání bezpečí a úlevy od vzniklého konfliktu než na požadované chování,

kteře pro koně v tu chvíli není relevantní (Goodwin et al. 2009). Taková situace může vést k obrannému chování koně nebo útěkovým reakcím, které mohou ohrozit bezpečnost přítomných lidí (Starling et al. 2016). Je známo, že jezdeckví patří dle statistik mezi nejnebezpečnější sporty (Hawson et al. 2010).

Podle Randle et al. (2017) je pro objektivní posouzení praxe zásadní robustní a přísné měření bez ohledu na zkoumaný aspekt jezdeckví. U koní a jezdců lze provést široký rozsah měření, včetně fyzických údajů (tlak, napětí), fyziologická měření (srdeční frekvence, teplota) a behaviorální měření (stereotypy, specifické činnosti jako je žvýkání, polykání a mrkání) (Randle et al. 2017). Trénink je důležitou součástí prostředí mladého plnokrevného dostihového koně, stejně jako u starších koní je důležité používat metody, které berou v úvahu přirozené chování jedince a jeho kognici (King et al. 2019). Předpokládá se, že u hříbat vedených způsobem, který je v souladu s jejich etologií a kognitivními schopnostmi, dojde ke zlepšení jejich welfare, budou mít větší šanci dostat se na závodní dráhu a také budou mít větší pravděpodobnost delší sportovní kariéry i po závodech (McGreevy & McLean 2007). Foal NZ je organizace, která úspěšně provedla počáteční trénink více než 3000 plnokrevných hříbat (ve věku do 8 týdnů) za použití výcvikových metod dle ISES (King et al. 2019). Hlavním cílem zmíněné publikace King et al. (2019) je ukázat hodnotu jezdecké metody založené na vědecky podložených informacích a aplikovat je v raném výcviku mladých hříbat. Schopnost produkovat jedince, kteří nejsou pouze fyzicky zdraví a dobře přizpůsobení, ale jsou také psychicky připraveni na pozdější trénink, je nutností. Potenciální pozitivní výsledky u sportovních koní s využitím principů ISES jsou také zdůrazněny pro nezávodní disciplíny a pro ty, kteří pracují v přidružených odvětvích, jako jsou veterináři a kováři (King et al. 2019).

### **3.3 Přehled komerčních zařízení na trhu**

Monitorování tréninku může zlepšit jeho efektivitu a také snižovat riziko zranění. Získaná data mohou sloužit nejenom pro sledování výkonnosti koně, ale také přispět při řešení etiky a welfare koní (Metcalf 2019).

Metody přesné detekce chůze jsou cenné pro různá použití, včetně analýzy výkonu a kvantifikaci kulhání (Briggs & Mazzà 2021). Kulhání u koní lze definovat jako změnu normálního chodu v důsledku funkční nebo strukturální poruchy pohybového systému a může být běžně připisováno ortopedické bolesti (van Weeren et al. 2017). Například výsledky ve studii Bosch et al. (2018) ukazují, že zde používaný EquiMoves může být dobrou pomůckou pro veterináře při analýze pohybu či analýze sportovního výkonu.

U koňských pacientů jsou srdeční arytmie běžnou příčinou špatného sportovního výkonu nebo komplikací různých patologií, dlouhodobý elektrokardiogram (EKG) v reálném prostředí je tedy nesmírně důležitý (Brložnik et al. 2019). Klidová tepová frekvence u koní může být nízká 20 tepů za minutu, přičemž maximální tepová frekvence je 240 tepů za minutu. Srdeční frekvence se rychle zvyšuje během přechodů z kroku do klusu nebo z klusu do cvalu (Brložnik et al. 2019). Při sledování tepové frekvence je nutné zohlednit také emoční vlivy na nestabilitu klidových hodnot (Dušek et al. 2011).

### 3.3.1 Snímače pohybu

Kinematika se nejčastěji měří pomocí systémů snímajících pohyb. Techniky analýzy pohybu se používají ve veterinárním výzkumu od konce 19. století. Mnoho z raných studií zahrnovalo zachycení pohyblivých obrázků ve 2D, tyto techniky se stále běžně používají v terénním výzkumu a klinické praxi. Ve 20. století došlo k rozvoji systémů schopných automatizovaných a poloautomatizovaných počítačem podporovaných analýz pohybu pomocí ruční i automatické techniky identifikace značek (Richards et al. 2010). V modernějších systémech pohyb koní snímá obvykle řada kamer, které sledují značky připevněné na tělo a kopyta koně. Souřadnice značek se používají k výpočtu časových, lineárních a úhlových proměnných, které popisují pohyby končetin a těla. Výsledná data se používají například při studiích různých chodů, přechodů a patologií v pohybu (např. kulhání) (Clayton 2016).

Analýza chůze pomocí inerciální měřicí jednotky (IMU) získala popularitu při používání u koní, jedná se o malé senzory a bezdrátové vysílače, které umožňují hodnocení s minimální infrastrukturou (Pfau et al. 2016). Podobný systém jako je IMU se nachází ve spotřebitelských telefonech. Pfau & Weller (2017) se proto rozhodli stanovit limit shody mezi ověřeným specializovaným systémem IMU (MTw, Xsens) a daty shromážděnými pomocí spotřebitelského chytrého telefonu (iPhone6) pro kvantifikaci pohybové symetrie a rozsahu pohybu pánevních končetin. Výsledky studie naznačují, že chytré telefony mohou být prvním krokem k posouzení asymetrie u koně a jsou vhodnou alternativou ke specializovaným zařízením (Pfau & Weller 2017). Darbandi et al. (2021) ve své studii hledali optimální umístění IMU a dospěli k závěru, že umístění jednoho IMU na jakékoliv končetině, kohoutku či v oblasti křížové kosti poskytuje vysokou přesnost při odhadu rychlosti.

Navzdory rostoucímu počtu komerčně dostupných systémů k analýze pohybu a výkonu koní v reálném prostředí existuje jen velmi málo výzkumů, které by zkoumaly potřeby skutečných koncových uživatelů a technologie, které jsou v současné době k dispozici pro splnění těchto potřeb (Egan et al. 2020). V diplomové práci je uvedeno funkční srovnání vybraných snímačů v Tab. 1.

#### 3.3.1.1 Equimo

EQUIMO tracker (Obr. 1) je výkonný sensor, který se připevňuje k podsedlové dešce a umožňuje kontrolovat kondici koně a měřit jeho výkon pomocí dat z tréninků a jízd. Data z jízdy zaznamenává do aplikace ve smartphonu (Equimo). Seznam funkcí, které snímač nabízí, můžeme rozřadit do tří kategorií, a to výkon, zdraví a pohoda, management stáje.

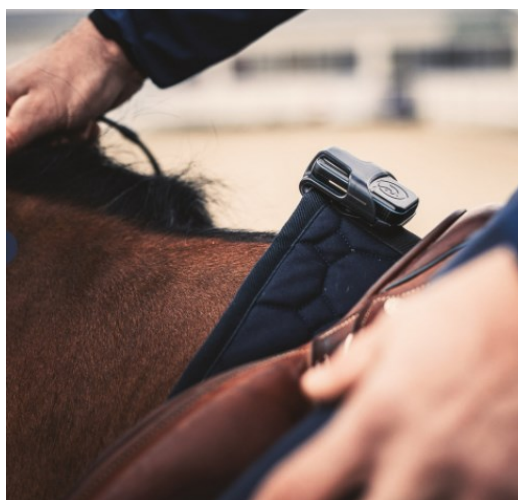
Do první kategorie patří tempo, které označuje rychlost pohybu či aktivity. Měřeno je ve dvou jednotkách: v krocích za minutu, které jsou užitečné pro vědomosti o chodech a v metrech za minutu, které se používají pro určení průměrného tempa v parkuru. Analýza skokové práce udává počet přeskočených překážek, výšku skoku a také úhly odrazu a dopadu. Úhel odrazu je faktor, který ukazuje, jak daleko se kůň před překážkou odrazil. U malých skoků správný úhel odrazu začíná mezi 15-25° a dosahuje 40-45° v rámci překonání velkých překážek. Dopadový úhel by měl být přibližně stejný jako úhel odrazový. Dále sem patří informace o skocích v řadách, kde graf tempa ukazuje detaily krok za krokem. Zaznamenává až 15 cvalových skoků, což umožňuje vyhodnocení rovnoměrnosti cvalových skoků a sledování

plynulosti daného úseku tréninku. K řadám je možné se zpětně vracet a následující trénink se tak zaměřit na pravidelnější projetí problémových částí.

Mezi důležitou funkcí se řadí také zaznamenávání opravdového času jízdy. Reálný čas je možné sledovat již během samotné jízdy v aplikaci na telefonu nebo na chytrých hodinkách. Funkce vzdálenost udává přesnou vzdálenost v metrech či kilometrech. Equimo sleduje také polohu jízdy a zobrazuje ji na mapě, jednotlivé chody jsou na mapě v rozdílných barvách.

Analýza probíhající jízdy ukazuje v rámci podkovového grafu a jeho kruhů symetrie vývoj jízdy. Možné je pozorovat čas strávený v jednotlivých chodech a procentuální rozdělení pohybu na levou a pravou stranu. Tyto informace je možné využít ke kontrole vyrovnanosti jízdy a mohou pomoci před jednostranným pohybem koně a s ním spojeným přetěžováním určitých tělesných partií. Ukládání a porovnávání dat v průběhu času může pomoci při odhalení některých změn v procesu tréninku koně. K udržení pravidelného tempa pomáhá funkce Equitronome. Do speciální kalkulačky v aplikaci je možné zadat požadované tempo v metrech za sekundu a délku cvalového skoku daného koně, Equimo poté navrhne vhodný zvukový rytmus, který je možné pustit na telefonu či do sluchátek v průběhu tréninkové lekce.

Intenzita je množství úsilí, které kůň vynaloží během tréninku. Graf intenzity pomáhá vyhodnotit a upravit pracovní zátěž koně, po jízdě tento graf poskytuje zpětnou vazbu o náročnosti daného tréninku. Management kalorií poskytuje přehled o spálených kaloriích koně. Aplikace pracuje se stravitelnou hladinou energie, veškerá spálená energie mimo tyto základní potřeby je následek tělesné aktivity. Equimo může také pomáhat při určení krmné dávky a uvědomit si případné překrmování či nedokrmování. Aplikace nabízí profily jednotlivých koní se záznamy mnoha různých informací. Equimo nabízí funkci kalendáře k plánování základních typů událostí, ale také k plánování celé tréninkové strategie, kterou je možné sdílet s ostatními. K usnadnění a zefektivnění komunikace je možné využívat týmový management, kde je možné vytvořit vlastní tým lidí se zvolenou rolí. Díky tomu může být jezdec virtuálně „pod kontrolou“ trenéra i na dálku (Equimo 2021).



**Obr. 1:** EQUIMO snímač.

Převzato z: <https://www.equimo.com/cs/equimo-tracker>

### 3.3.1.2 Equisense

Equisense IMU senzor má devět stupňů volnosti, kde tři jsou pro akcelerometr, tři pro gyroskop a tři pro magnetometr. Tento inerciální systém získává 100 měření za sekundu a poskytuje tak analýzu pohybu koně extrémně přesným způsobem. Equisense dále nabízí systém, který měří elektrokardiogram koně a nabízí tak spolehlivou detekci srdeční frekvence a srdečních arytmií (Equisense 2021).

Equisense senzor (Obr. 2) je nutné připnout k podbřišníku nebo zakoupit přímo podbřišník s již zabudovaným senzorem. Pásek s elektrodami pro měření srdeční frekvence se upevňuje pod podsedlovou dečku koně. Pro dobré přenesení signálů je zapotřebí pás s elektrodami navlhčit gelem, v případě, že je kůň více chlupatý, je nutné použít více gelu, aby signál mohl projít. V případě problému se signálem, nejsou data srdečního tepu v aplikaci zobrazena, aby nedošlo k poskytnutí falešných hodnot. Referenční hodnoty pro srdeční frekvenci jsou v klidu 30-40 bpm (úderů za minutu), v kroku 60-80 bpm, v klusu 80-100 bpm, ve cvalu 100-120 bpm, ve cvalu (CCI4\*) 180-220 bpm a maximální tepová frekvence je 240 bpm. Na základě srdeční frekvence dokáže aplikace rozpoznat, jaká byla intenzita tréninku, dělí se do pěti skupin, a to na velmi lehký (0-110 bpm), lehký (110-130 bpm), střední (130-150 bpm), intenzivní (150-180 bpm) a maximální (180-240 bpm).

Aplikace dokáže vypočítat pracovní zátěž pomocí měření tepové frekvence během tréninku a hmotnosti koně. Pracovní zátěž představuje energii vynaloženou během každého tréninku a informace se v aplikaci zobrazují během každého z nich po celý týden. Hodnoty na týdenní bázi jsou následující: lehká práce <5000 kcal, pravidelný trénink 10 000 kcal, fyzická příprava 15 000 kcal, intenzivní práce 17 000 kcal. Cíl je nutné personalizovat podle věku konkrétního koně, disciplíny a úrovně tréninku. Během tréninku se řídíme dle kritérií, kde <1000 kcal znamená velmi lehkou práci, mezi 1000 a 2000 kcal se jedná o lehkou práci, mezi 2000 a 3000 kcal o normální práci a mezi 3000 a 4000 kcal se jedná o těžkou práci. Doba zotavení představuje čas, který kůň potřebuje pro zotavení po tréninku. Poskytuje důležité informace o kondici a zdravotním stavu koně, s dobře provedenými základními pracemi by se měla doba zotavení postupem času zkracovat. K tomu slouží evoluční šipky v aplikaci, které jezdcům a majitelům koně umožňují identifikovat pokrok.

Equisense poskytuje barevný graf pro údaje o času stráveném v zastavení, kroku, klusu a cvalu. Nastavený algoritmus nemusí fungovat pro malé poníky (méně než 135 cm) a pro specifické chody jako je například tölt. Snímač je schopný zaznamenávat počet přechodů, tj. kolikrát kůň přešel z jednoho chodu do druhého. Při každé změně chodu se počet přechodů zvýší o 1. Rozpoznání práce na levou a pravou stranu je důležité pro předcházení jednostrannému zatěžování koně, které může časem způsobit svalovou asymetrii. Snímač detekuje tři stavy, a to odbočení vlevo, odbočení vpravo a pohyb rovně. Přímé čáry jsou pak znovu přiřazeny k ruce na základě křivky, která předchází a křivky, která následuje. Symetrie koně je počítána z pohybu v klusu na rovné linii. Porovnávají se mezi sebou pohyby diagonálních párů končetin na rovné linii, tedy porovnání fáze dopadu a podpory pravého páru diagonálních končetin (pravá přední končetina + levá zadní končetina) a levého páru diagonálních končetin. Analýza dat poskytuje hodnocení symetrie na stupnici od 0 do 10, přičemž dokonalá symetrie (10/10) neexistuje. Hodnoty nad 7/10 jsou považovány za známku



dobré symetrie koně. Symetrie se může lišit od jednoho tréninku k druhému, aniž by ve skutečnosti byla známkou kulhání, zobrazené změny je nutné porovnávat také s pocitem z jízdy. Pro její vypočítání je nutné klusat na rovné linii po dobu alespoň 6 sekund a celkový čas v klusu na rovné linii musí být minimálně 20 sekund. Dalším parametrem, který Equisense měří je kadence, která odpovídá počtu kroků za minutu. Grafika v aplikaci pomůže vizualizovat zlepšení kadence v průběhu času, pro její výpočet je nutné strávit alespoň 20 sekund v určitém chodu. Pravidelnost kadence je výpočet konzistence rytmu koně, hodnocena je známkou od 1 do 10. Hodnocení blízko 10 znamená, že kůň je velmi konzistentní v chodu a hodnocení blízko 0 znamená, že kůň má nepravidelnou kadenci a často mění svůj rytmus. Elevace znázorňuje vertikální pohyb (v cm) těla koně pro každý krok. Elevace odpovídá pocitu pohybu vzhůru, který je cítit v sedle. Například drezurní jezdci vyhledávají vysokou hodnotu, zatímco vytrvalostní jezdci hodnotu nízkou. Obecná představa pro jednotlivé chody je následující: krok 1-5 cm, klus 7-16 cm, cval 15-30 cm.

Skoky koně jsou detekovány kombinací různých zrychlení a rotací, které jsou pozorovány během skoku. Skoky pod 70-80 cm nemusí být detekovány a často je lze zaměnit s cvalovým krokem. Příliš mnoho skoků může mít negativní dopad na zdraví koně, proto je vhodné jejich počet důkladně sledovat. Aplikace definuje překážkovou sestavu jako sled nejméně tří překážek v jedné cvalové fázi, z nichž každá je oddělena nejméně jedním krokem. Na konci jízdy je zobrazen celkový počet sestav, který byl proveden a průměrná kadence na všech sestavách.

V aplikaci Equisense je možné sledovat svou jízdu na mapě, dráha se zobrazuje v různých barvách, které jsou specifické pro daný chod. GPS sledování je dostupné i pro uživatele bez senzoru, sledovat je možné celkově tyto parametry: celková vzdálenost, průměrná rychlost, stopa jízdy, elevace a rychlost v jednotlivých chodech. Pozitivní elevace je celkový vertikální zisk, to znamená, že aplikace sečte každý výstup a vypočítá rozdíl mezi nejnižším a nejvyšším bodem. Čím vyšší pozitivní elevace, tím více stoupání a tím těžší práce pro koně. Equisense využívá GPS v telefonu, proto je nutné mít telefon u sebe. Signál GPS velmi obtížně prochází střechou jízdárny, v důsledku toho mohou být data zkreslena. Kvalita dat závisí na kvalitě GPS v daném telefonu, ale také na vnějších faktorech jako je počasí nebo hustota satelitů v dané oblasti.



**Obr. 2:** Equisense snímač a pás s elektrodami pro měření srdeční frekvence.

Převzato z: <https://equisense.com/products/motion-sport?variant=39509490303018>

### 3.3.1.3 Seaver

Seaver tým zakládá svůj výzkum a vývoj na zdraví a welfare koně a na tom, jak je optimalizovat. Technologie, která je integrovaná do běžného jezdeckého vybavení nabízí jezdcům možnost měřit svůj trénink, podílet se na progresu své jízdy, předcházet a předvídat rizika zranění. Přenesená data z aplikace přes Bluetooth umožňují založit jízdu nejen na interpretaci pocitů, ale také na objektivních faktech a číslech (Seaver 2021a). Profil koně v aplikaci je možné sdílet se svým trenérem, veterinářem či majitelem, tato osoba má ze svého účtu přístup k záznamům koně a jeho tréninkům.

Nejnovější verzí od společnosti Seaver je malý Ceefit senzor (Obr. 3), který se lehce připevňuje k podbřišníku. K tomu dále Ceefit Pulse & ECG pás (Obr. 3), který shromažďuje všechna data týkající se tepové frekvence koně. Předplatné programu Santé +, které je součástí mobilní aplikace, nabízí nové funkce, které umožňují přístup k přesným informacím o stavu koně díky různým testům (EKG, Fitness Shape Test, aj.).

Srdeční frekvence v klidu je indikátor, který je spojen s funkcí EKG, odráží kondici koně v konkrétní daný čas. V klidu je srdeční frekvence běžně mezi 25-40 tepy za minutu, horečka či kolika mohou srdeční frekvenci zvyšovat, což může být klíčový indikátor pro posouzení situace veterinářem. Měření je doporučeno provádět v pravidelnou hodinu, nejlépe ráno před námahou koně. Kůň by se neměl hýbat a měl by znát prostředí, ve kterém je sledován, pouze tak je možné zajistit optimální proces měření. Funkce pro odhad stresu umožňuje kontrolovat vývoj stresu u koně během specifického tréninku a identifikovat náročné situace. Aplikace generuje známku a graf z tréninku, který je možný si detailně prohlédnout. Úroveň stresu je zde rozdělena do tří skupin dle barev: zelená pro klidové období, oranžová pro středně stresující období (nad 50/100) a červená pro kriticky stresové období (nad 75/100). Čas pro zotavení ukazuje období zotavení po tréninku či jiné práci.

Seaver měří symetrii v klusu na přímé linii a srovnává, zda jsou oba diagonální páry končetin používány ekvivalentně. Výpočet se provádí pouze tehdy, když je kůň v klusu po dobu alespoň 10 sekund v přímém směru a je reprezentovaný známkou v %, která se vyvíjí během jízdy. V kryté hale o velikosti 20x60 toho lze dosáhnout pouze na dokonale rovné diagonále. Hlavní výhodou této funkce je schopnost detekovat slabost nebo kulhání dříve, než je viditelné a jednat tak, aby se předešlo zhoršování problému a rychlejšímu zotavení. Pro zdravého koně je skóre obvykle mezi 70 a 100 %, pro skóre pod 40 % je pravděpodobné, že kůň kulhá. V záložce lokomoce je dále čas strávený v jednotlivých chodech, což poskytuje lepší představu o úrovni intenzity tréninku. Seaver poskytuje také rozpis času ve všech směrech pohybu a umožňuje tak zajistit lepší a vyvážený trénink, který přispívá k dobrému osvalení koně. Kadence je počet kroků za minutu v daném chodu a měří pravidelnost chůze. V aplikaci se nachází také průměry pro každý chod, pro posouzení efektivity tréninku a provedených cviků je dobré tyto hodnoty srovnávat od jednoho tréninku k dalšímu. Elevace odpovídá rozsahu vertikálního posunu koně. Jednotlivé chody jsou označeny barevně a je u nich uveden také průměr. Porovnání elevace během různých cvičení je důležité pro pochopení, co ji pomůže zlepšit. Průměrná elevace u koně v kroku je 1-5 cm, v klusu 5-15 cm a 10-25 cm při cvalu.

Seaver poskytuje data o počtu přeskocených překážek, jejich průměru a maximální výšce. Data získaná o výšce odpovídají poloze senzoru ve srovnání se zemí, a ne skutečné výšce překážky. Skoky pod 70 cm nemusí být detekovány vůbec. Dále udává úhel při odskoku a vzdálenost mezi zadními končetinami při odskoku a předními končetinami při dopadu. Pro správné fungování aplikace jsou nezbytná požadovaná měření s daným koněm pro vytvoření algoritmu, který určuje výšku skoku, jinak může dojít ke zkreslení dat.

Porovnání symetrie síly zadních končetin při odrazu nás může varovat v případě silného rozdílu. Hodnoty mezi 45 % a 55 % jsou celkem uspokojivé, v případě nižších nebo vyšších hodnot je dobré začít koně sledovat. Energie absorbovaná při doskoku představuje energii, která je absorbována hlavně předními končetinami. Čím vyšší hodnota, tím více má kůň rozptýlenou energii při dotyku se zemí. Tyto opakované nárazy mohou způsobit problémy s klouby nebo šlachami, takže je dobré množství absorbované energie co nejvíce minimalizovat.

Rychlost je základním ukazatelem pro posouzení srdečního stavu a fyzických schopností koně. Aplikace nabízí vývoj ujeté vzdálenosti v reálném čase. K výpočtu rychlosti a vzdálenosti využívá Seaver GPS v telefonu, pro získání těchto dat je tedy nutné mít telefon u sebe. Při práci ve vnitřní hale přesnost GPS výrazně klesá a satelitní signály mají potíže s identifikací přesné polohy, následkem toho mohou být data v interiéru nespolehlivá (Seaver 2021b).

Novinkou od této společnosti je airbagová vesta SAFEFIT, která se aktivuje velmi rychle před nárazem a chrání tak záda, bederní oblast, krk, krční páteř, hrudní koš, pánev a křížovou oblast. Vestu je možné zkombinovat s možností SAFERIDE, kterou aplikace Seaver nabízí. Po aktivaci v telefonu jsou blízcí upozorněni v případě pádu a mohou tak díky geolokaci zajistit jezdcovi potřebnou pomoc.



**Obr. 3:** Ceefit snímač a pás pro měření srdeční frekvence.

Převzato z: <https://seaverhorse.com/ceefit>

#### 3.3.1.4 Horseteq

Snímače Horseteq (Obr. 4) poskytují informace o pohodě a výkonu koně, pravidelná analýza pohybu a sledování symetrie může pomoci při odhalení potenciálních problémů. Horseteq umožňuje sdílet každodenní diagnostiku koně s fyzioterapeuty, veterináři nebo jinými zdravotníky, čímž pomáhá při odhalení jakékoliv odchylky od normální výkonnosti a umožňuje tak podniknout kroky, které problém zachytí v rané fázi a může se tak předejít zranění koně (Horseteq).

Snímač je kompatibilní se sadou pásu snímače srdečního tepu Polar Equine H3, s kterou může poskytovat informace o srdeční frekvenci koně. Senzory Horseteq (Obr. 4) se připevňují na končetiny koně pomocí bandáží, které jsou součástí balení. Data ze snímačů jsou bezdrátově přiváděna do doprovodné aplikace v chytrém telefonu.

Technologie umožňuje měřit následující parametry: délku kroku, počet kroků, rychlost, sílu dopadu kopyt, symetrii a dobu, po kterou končetina byla/nebyla v kontaktu se zemí.



**Obr. 4:** Horseteq snímače.

Převzato z: <http://www.horseteq.com/en/technology/>

#### 3.3.1.5 Equinity

Equinity (Obr. 5) slouží k měření kondice, výkonu a pohody koně. GPS a zařízení pro měření srdečního tepu, vložené do podbřišníku, zaznamenávají data z tréninku koně, která

lze stáhnout a prohlížet z libovolného zařízení v rámci analýzy tréninku. Poskytuje průměrné a maximální hodnoty srdeční frekvence a také dobu zotavení (Equinity Technology Limited 2021).

Equinity umožňuje sledovat data v reálném čase, trenér tak může sledovat přesnou polohu jezdce a koně, jejich rychlost, krok, srdeční tep, aj. v živém přenosu. Poskytuje okamžitou zpětnou vazbu k tréninku, která je důležitá pro pochopení účinnosti daného cvičení. Za pomocí snímače je možné pozorovat, zda je dodržováno požadované tempo pro různé soutěžní úrovně. Software je navržen tak, aby zobrazoval data ve snadno srozumitelných formátech, pokrývajících klíčové metriky jako je srdeční frekvence, doba zotavení, rychlost, délka kroku a mezičasy či časy úseků.

Díky Equinity je možné odhalit potenciální problém, který by byl oku neviditelný. Konzistentní data v průběhu času poskytují neocenitelný nástroj, jak zjistit případné anomálie v obvyklých výkonnostních trendech koně. Například zvýšení doby zotavení/srdeční frekvence nebo frekvence kroků může být včasným indikátorem potřeby dalšího vyšetření, které může odhalit problém v rané fázi.



**Obr. 5:** Equinity tracker.

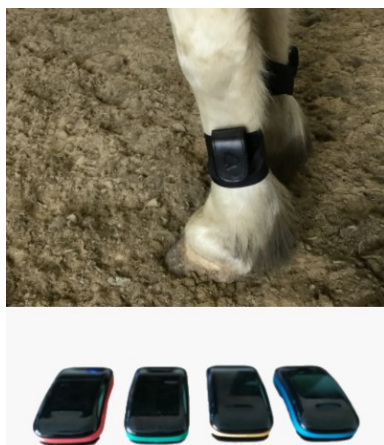
Převzato z: <https://equinitytechnology.com/how-it-works>

#### 3.3.1.6 Estride Tracker Pro

Jedná se o multifunkční fitness tracker (Obr. 6), který je vhodný pro zlepšení jízdy a zajištění zdraví koně. Snímače využívají inerciální a magnetické senzory připevněné ke všem končetinám koně, aby identifikovaly nesrovnalosti v kroku. Analýza chodu a kroku dokáže odhalit jemné kulhání a může také sloužit při rehabilitaci koně po zranění (Stride Innovations Limited 2021). Zařízení lze využít také k měření spálených kalorií.

Estride je přesný nástroj, který analyzuje biomechaniku a výkon koní a následně tak pomáhá získat z každé jízdy maximum. Analýza vzorce každodenní jezdecké aktivity je vhodná pro dosažení požadovaných jezdeckých cílů. Snímač měří každý krok, který kůň udělá, aby mohl identifikovat vzorec chůze, pravidelnost a zdatnost koně během jízdy.

Estride poskytuje informace o času stráveném v jednotlivých chodech a také o počtu spálených kalorií v daných chodech, historická data je pak možné porovnat. Snímače nabízí přehled o celkové době tréninku a poskytují porovnání s předchozími lekcemi.



**Obr. 6:** Estride Tracker a jeho umístění.

Převzato z: <https://www.estride.store/trackers>

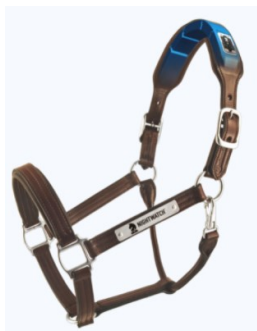
**Tab. 1:** Funkční srovnání jednotlivých snímačů.

Charakteristiky	Estride	Equisense	Equimo	Horseteq	EquinITy	Seaver
Délka lekce (min)	✓	✓	✓	x	✓	✓
Ujetá vzdálenost (km)	x	✓	✓	x	✓	✓
Mapa pohybu	x	✓	✓	x	✓	✓
Chod koně	✓	✓	✓	x	✓	✓
Rychlost (km/h)	x	✓	✓	✓	✓	✓
Tempo	x	✓	✓	x	✓	✓
Spálené kalorie (kcal)	✓	✓	✓	x	✓	✓
Tep	x	✓	x	x	✓	✓
Kolikrát jsem jel/a na levou ruku a na pravou ruku?	x	✓	✓	x	x	✓
Směr pohybu v jednotlivých chodech	x	✓	✓	x	x	✓
Výška skoku	x	✓	✓	x	x	✓
Úhel odskoku (odrazu) a dopadu	x	x	✓	x	x	✓
Počet cvalových skoků za časovou jednotku mezi překážkami	x	x	✓	x	✓	x
Kadence	x	✓	x	x	x	✓
Elevace	x	✓	x	x	x	✓

### 3.3.2 Další snímače na trhu

#### 3.3.2.1 Chytrá ohlávka Nightwatch

Chytrá ohlávka (Obr. 7) obsahuje několik senzorů, které monitorují vitální funkce a chování koně. V případě zjištění známek strádání (např. kolika, zranění, aj.) upozorní ohlávka majitele prostřednictvím SMS, telefonního hovoru či e-mailu. Nightwatch zaznamenává srdeční a dechovou frekvenci, úroveň aktivity, pohyb a držení těla a připojuje se k telefonu majitele na dálku přes mobilní a wifi síť. Pro porozumění koni je využívána 10 bodová stupnice EDI (Equine Distress Index), čím nižší je skóre, tím šťastnější a zdravější kůň je (Protequus 2022).



Obr. 7: Chytrá ohlávka.

Převzato z: <https://www.smarthalter.com/pages/learn>

#### 3.3.2.2 Equinosis

Equinosis Q s lokátorem kulhavosti (Obr. 8) se prodává pouze licencovaným registrovaným veterinářům. Jedná se o sofistikovaný lékařský diagnostický nástroj a jeho výstupy musí být interpretovány veterinářem, který má s hodnocením kulhání zkušenosti. Mikroelektronické senzory měří pohyb koně pomocí bezdrátového sběru dat v reálném čase (Equinosis 2022).

Snímače měřící pohyby hlavy a pánve vypočítávají asymetrické zatížení končetin s přesností, které se lidské oko nemůže rovnat. S načasováním cyklu kroku pomocí snímače na dolní končetině Equinosis Q určuje, kdy v kroku k němu dochází – při dopadu, uprostřed nebo při odrazu.





**Obr. 8:** Jednotlivé umístění snímačů Equinosis Q s lokátorem kulhavosti na koni.

Převzato z: <https://equinosis.com/horse-owners/#>

### 3.3.2.3 Ipos

Senzorový systém Ipos (Obr. 9) se skládá ze dvou oteřzových senzorů, které se umísťují na levou a pravou stranu mezi udidlo a oteřz. Každý senzor váží 68 g. Systém měří velikost tlaku vyvíjeného na udidlo koně. Aplikace Ipos Training sbírá data, která je možná prohlížet v reálném čase (Ipos 2020).



**Obr. 9:** Senzory Ipos pro měření napětí oteřzí.

Převzato z: <https://www.ipostechnology.com/product-page/ipos-rein-sensor>

### 3.3.2.4 Polar

Společnost Polar kromě široké nabídky snímačů pro různá sportovní odvětví (běh, cyklistika, aj.) nabízí také řadu Polar Equine (Obr. 10), která se skládá ze snímače tepové frekvence a pásu, do kterého se snímač umísťuje. Pás je konstruován tak, aby se dobře vešel pod sedlo a lze ho tak použít pro všechny jezdecké sporty. Sledování tepové frekvence pomáhá při zhodnocení efektivity tréninku koně (Polar Electro 2022).

Tepovou frekvenci je možné sledovat pomocí kompatibilních hodinek Polar s technologií Bluetooth nebo pomocí aplikace Polar Equine v chytrém telefonu.

V současné době není umožněna doprava sady Polar Equine do ČR.





**Obr. 10:** Snímač tepové frekvence a jezdecký pás Polar Equine.

Převzato z: [https://www.polar.com/cs/modelove\\_rady/snimace-tepove-frekvence-pro-kone/sn%C3%ADmac-tepove-frekvence-pro-jizdu-na-koni-polar-equine](https://www.polar.com/cs/modelove_rady/snimace-tepove-frekvence-pro-kone/sn%C3%ADmac-tepove-frekvence-pro-jizdu-na-koni-polar-equine)

## 4 Metodika

### 4.1 Sběr dat

Sběr dat byl proveden na Brandejsově statku (Akademický klub ČZU) v kryté hale o velikosti 20x60 m, uvnitř haly je měkký povrch, který se skládá z písku a geotextilie. První měření proběhlo na konci září (30.9.) 2021, poté ze zdravotních důvodů koní a jejich následné rekonvalescenci bylo další měření umožněno v únoru (8.2.) a březnu (4.3.) 2022.

Každý kůň byl současně vybaven dvěma senzory (Equimo, Equisense) a pásem pro měření srdeční frekvence (Polar). Údaje z obou senzorů byly přenášeny bezdrátově do aplikace v chytrém telefonu (Iphone SE), který byl umístěn v kapse jezdce. Pro účely sledování byl vybrán zkušený jezdec, který všechny testované koně zná a denně s nimi manipuluje a pracuje. Jezdec byl pro všechna měření na Brandejsově statku stejný a na jízdu byl kromě telefonu vybaven ještě Polar hodinkami na levé ruce. Sběr dat byl spuštěn a zastaven ručně v přibližně stejnou dobu pro oba senzory. Do haly byla umístěna kamera (Pixio) pro pozdější analýzu jízdy a získaná data byla následně porovnána s hodnotami získanými pomocí snímačů. Kvůli technickým problémům bylo Pixio využito pouze při prvním měření. Druhé a třetí měření tak bylo nahráváno ručně pomocí kamery (Sony, Handcam, 9.2) umístěné na stativu v jízdárně.

Po každé jízdě následoval krátký rozhovor, kdy byl jezdec dotázán na celkový pocit z jízdy a zda si myslí, že pracoval na obě strany stejně dlouho. Pocit z jízdy jezdec hodnotil na stupnici od 1-10, přičemž 10 byla nejlepší možná známka. U jezdce i jednotlivých koní byla také zaznamenána stranová dominance (levák/pravák). Stranovou preferenci koní hodnotil jezdec, který koně zná a pracuje s nimi pravidelně a může tak posoudit na jakou stranu koně pracují lépe a ochotněji.

Při prvním měření (30.9.) se jednotlivé jízdy skládaly z krátkého krokování koně (5 minut), poté se zapnuly snímače a následovalo 20 minut jízdy ve všech chodech s několika zastaveními a změnami směru. Poté následovalo další krokování koně (5 minut) a vypnutí snímačů. Podrobný rozpis sledovacího dne je uveden v příloze 1. Druhé a třetí měření proběhlo v podobném duchu s mírnou časovou změnou. Při každém měření byly venku a v hale odlišné světelné, větrné i teplotní podmínky, které mohly mít na měření a koně vliv.

Pro ověření funkce GPS byly snímače využity také při jízdách v terénu, přičemž kontrolou byly Polar hodinky. Ze získaných videozáznamů bylo ručně zaznamenáno několik údajů. Sledované parametry byly: celková doba jízdy, čas strávený v zastavení, kroku, klusu a cvalu s rozdělením na pravou/levou stranu a počet přechodů. V průběhu přenosu dat došlo bohužel ke ztrátě záznamu jednoho sledování s koněm 3. Získaná data v aplikacích Equimo a Equisense byla přepsána do tabulky v Excelu. Následně byly ze získaných dat vybrány porovnatelné proměnné, které byly shodné pro oba typy snímačů. Konkrétní hodnoty dat byly následně převedeny do tabulky analyzovatelné ve statistickém programu SAS (verze 9.4.).

### 4.2 Koně

Data na Brandejsově statku byla získána od třech koní, jejichž popis je uveden v Tab. 2. Všichni koně fungují ve stejném režimu, jsou ustájeni v boxech a přes den jsou na několik hodin

vypuštění na pastvu. Kvůli zdravotním indispozicím koní nebylo možné do plánu zařadit skoky přes překážky, ani lonžování (práci na kruhu), a tak byly senzory testovány pouze při běžné jízdárenské práci ze sedla, na kterou jsou všichni koně zvyklí.

**Tab. 2:** Popis jednotlivých koní.

Jméno koně	Pohlaví	Věk	Plemeno	Zbarvení	Stranová preference
Kůň 1	klisna	11	slovenský teplokrevník	hnědka	levá
Kůň 2	klisna	16	slovenský teplokrevník	bělka	levá
Kůň 3	valach	18	český teplokrevník	ryzák	pravá

## 4.3 Vybavení

### 4.3.1 Equimo

Po nainstalování aplikace do telefonu bylo potřeba zadat určité informace při nastavování profilu koně. Požadovaná je především délka těla, obvod hrudního koše, délka nohy, aj. Poté stačilo snímač a aplikaci v telefonu zapnout a následně připevnit Equimo k podsedlové dečce před sedlo koně. Podrobné informace o snímači jsou uvedené v kapitole 3.3.1.1.

### 4.3.2 Equisense

Po založení profilů, byly do aplikace zadány informace o jednotlivých koních (výška koně, váha). Před jízdou byl pás se snímačem připevněn k podbřišníku koně. Na pásek s elektrodami byl aplikován gel, poté se pásek umístil pod podsedlovou dečku koně. Podrobné informace o snímači jsou uvedené v kapitole 3.3.1.2.

### 4.3.3 Polar

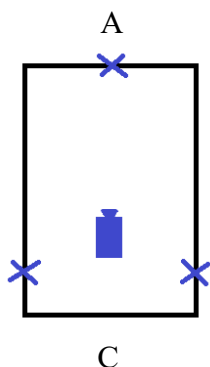
Pro měření srdeční frekvence koní byl využit pás Polar TEAM2, který se zapíná přes obvod koně. Pás je vhodné umístit tak, aby společně s nasazeným sedlem koni nepřekážel. Tento typ Polaru je vyvinut pro skupiny atletů a jeho výhodou je synchronizace jednotlivých snímačů, které se k počítači připojují přes base station.

Společně s pásem byly využity také hodinky Polar V800. Výdrž baterie hodinek je až 13 hodin (soustavného tréninku) se snímačem srdeční frekvence a běžným užíváním GPS a až 50 hodin (soustavného tréninku) v úsporném režimu GPS se snímačem srdeční frekvence. Přesnost hodinek je pro vzdálenost +/- 2 % a pro rychlost +/- 2 km/h. Rozlišení nadmořské výšky je 1 m a rozlišení stoupání/klesání je 5 m. Během běžného používání GPS je četnost vzorkování 1 sekunda a v úsporném režimu 60 sekund. Rozsah měření srdeční frekvence je 15-240 tepů za minutu.

### 4.3.4 Pixio

Pixio je možné využívat pro měření ve vnitřních i venkovních prostorech na vzdálenost cca do 100 m. Rotace robota, na který se umísťuje kamera, je 360°. Umístění Pixia v hale je

vidět na Obr. 11. Kromě kamery na stativu se do prostoru umístily tři stojánky a jezdec byl vybaven Pixio hodinkami, za kterými se kamera následně otáčela.



**Obr. 11:** Umístění Pixia s jednotlivými stojánky v hale

#### 4.4 Analýza dat

Data byla zpracována v interních aplikacích využitých snímačů a poté ručně přepsána do datové tabulky ve formátu Microsoft Office Excel. Vyhodnocení videozáznamů probíhalo ze tří opakovaných pozorování koní během jezdecké lekce. Pozorované údaje byly zaneseny do připravených tabulek v Microsoft Office Excel. Následně byly po potřebných úpravách zanalyzovány ve statistickém programu SAS (verze 9.4; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Rozložení a charakteristika kontinuálních vybraných proměnných byly získány v proceduře PROC UNIVARIATE. V programu byly vytvořeny histogramy pro jednotlivé proměnné. Průzkumné analýzy a závislosti mezi jednotlivými proměnnými byly zjištěny z kontingenčních tabulek (PROC FREQ). Pro posouzení normality dat byl využit Kolmogorov-Smirnovův test. Následně byla mezi vybranými proměnnými sledována korelace (PROC COR, SAS).

## 5 Výsledky

### 5.1 Explorační analýza dat o základních chodech koní

Ze všech proměnných, které snímače Equimo a Equisense mohou zaznamenávat, bylo vybráno několik z nich, jejichž hodnoty bylo možné porovnat mezi sebou a spolu s daty získanými analýzou videozáznamů o pohybu koní během jezdeckých lekcí. Mezi zmíněné proměnné patřil strávený čas (v minutách) koně v zastavení, pohyb v kroku, klusu, cvalu, krok na levou stranu, krok na pravou stranu, klus na levou stranu, klus na pravou stranu, cval na levou stranu, cval na pravou stranu, skok a počet přechodů. U zmíněných proměnných byly zjišťovány základní popisné statistické parametry jako průměr, směrodatná odchylka, maximum a minimum. Základní popisné statistiky vybraných proměnných z videozáznamů a snímačů Equimo a Equisense jsou uvedeny v Tab. 3.

**Tab. 3:** Základní charakteristiky dat pro jednotlivé chody (v minutách) a přechody dle tří typů dat z analýzy videozáznamu (A), snímače Equimo (B) a Equisense (C).

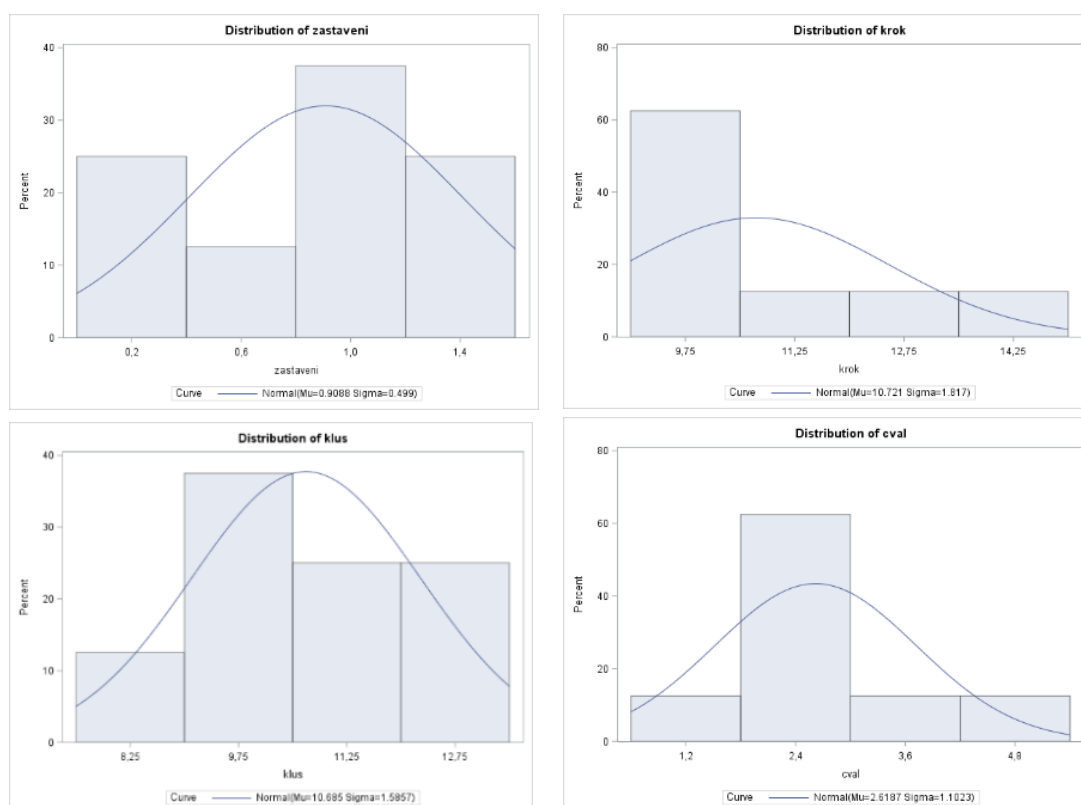
A Videozáznam				
Vybrané proměnné	Průměr	Směrodatná odchylka ( $\pm$ )	Minimum	Maximum
Zastavení	0,91	0,50	0,16	1,57
Krok	10,72	1,82	9,03	14,51
Klus	10,69	1,58	8,51	13,07
Cval	2,62	1,10	1,45	5,10
Přechod	47,62	10,78	33,00	59,00

B Equimo				
Vybrané proměnné	Průměr	Směrodatná odchylka ( $\pm$ )	Minimum	Maximum
Krok	11,50	2,09	9,34	16,19
Klus	10,24	1,41	8,47	12,40
Cval	2,60	1,06	1,45	5,06

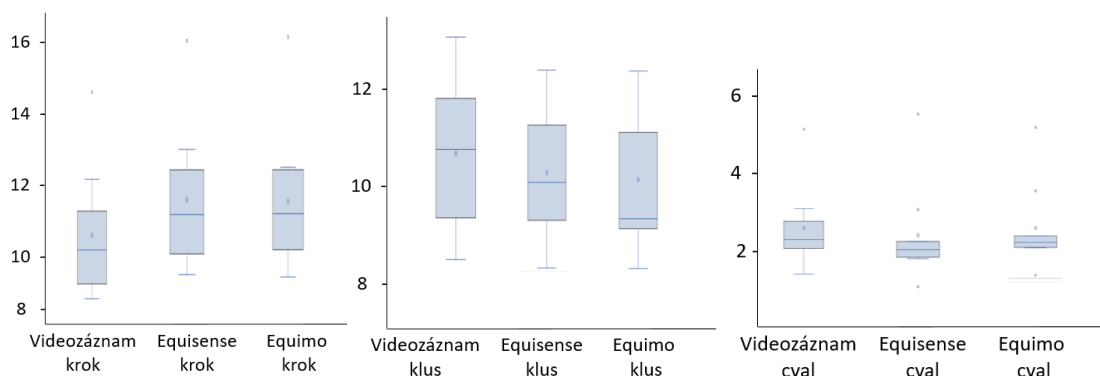
### C Equisense

Vybrané proměnné	Průměr	Směrodatná odchylka ( $\pm$ )	Minimum	Maximum
Zastavení	1,68	1,31	0,04	4,07
Krok	11,62	2,02	9,52	16,06
Klus	10,30	1,34	8,34	12,41
Cval	2,56	1,04	1,48	5,11
Přechod	50,00	11,09	31,00	61,00

Dále bylo zjišťováno rozložení získaných dat, které je možné vidět na Obr. 12, ten se skládá ze čtyř histogramů zobrazující rozložení dat pro zastavení, krok, klus a cval z videozáznamů jezdecké lekce. Stejným způsobem byly hodnoceny i další vybrané proměnné. Pro bližší zjištění normality dat byla data podrobena Kolmogorov-Smirnovovu testu, jehož výsledky poukázaly na normalitu rozložení vybraných proměnných. Data byla zobrazena také pomocí box plot grafu, na kterém je možné posoudit rozdělení dat pomocí kvartilů, stejně tak jako asymetrii dat. Vyznačuje odlehlé hodnoty a je vhodný i k posouzení variability (Obr. 13).



**Obr. 12:** Rozložení dat zobrazené na jednotlivých histogramech pro vybrané proměnné z videozáznamu o základních chodech koní a zastavení (vlevo nahoře zastavení, vpravo nahoře krok, vlevo dole klus a vpravo dole cval).



**Obr. 13:** Box ploty pro data během kroku, klusu a cvalu získaná z analýzy videozáznamu, snímače Equimo a Equisense.

## 5.2 Rozložení jízdy na levou a pravou stranu

V naměřených datech bylo také možné vidět čas strávený jízdou a pohybem na pravou a levou ruku v procentech z celkové délky jízdy na koni jak v Equimo snímači, tak pomocí snímače Equisense. Zobrazení rozložení poměru jízdy na levou a pravou stranu v aplikaci Equisense a Equimo je zobrazeno níže na Obr. 14,15. Stejným způsobem byla hodnocena doba jízdy na levou a pravou stranu z videozáznamů. U této proměnné byly zjišťovány základní popisné statistické parametry pro jednotlivé typy měření jako je průměr, směrodatná odchylka, maximum a minimum. Zobrazení je následně uvedeno v Tab. 4.

**Tab. 4:** Základní charakteristiky dat pro rozložení jízdy na levou a pravou stranu (v %) dle tří typů dat z analýzy videozáznamu (A), snímače Equimo (B) a Equisense (C).

A Videozáznam

Vybrané proměnné	Průměr	Směrodatná odchylka ( $\pm$ )	Minimum	Maximum
Krok na levou ruku	59	7,41	46	70
Krok na pravou ruku	41	1,59	30	54
Klus na levou ruku	53	3,07	47	57
Klus na pravou ruku	47	3,07	43	53
Cval na levou ruku	51	4,21	45	57
Cval na pravou ruku	49	4,21	43	55

**B Equimo**

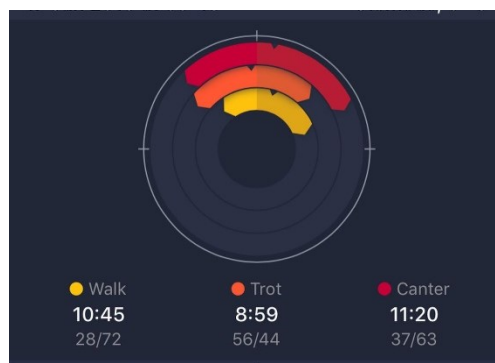
<b>Vybrané proměnné</b>	<b>Průměr</b>	<b>Směrodatná odchylka (±)</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
Krok na levou ruku	53	4,28	46	59
Krok na pravou ruku	47	4,28	41	54
Klus na levou ruku	49	4,62	39	54
Klus na pravou ruku	51	4,62	46	61
Cval na levou ruku	51	8,06	38	59
Cval na pravou ruku	49	8,06	41	62

**C Equisense**

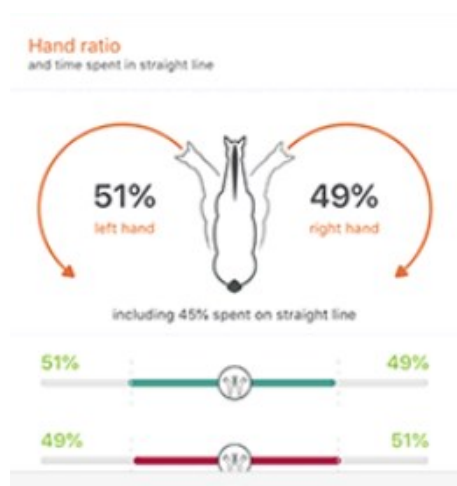
<b>Vybrané proměnné</b>	<b>Průměr</b>	<b>Směrodatná odchylka (±)</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
Krok na levou ruku	58	5,16	49	66
Krok na pravou ruku	42	5,16	34	51
Klus na levou ruku	54	2,22	52	59
Klus na pravou ruku	46	2,22	41	48
Cval na levou ruku	50	5,80	41	58
Cval na pravou ruku	50	5,80	42	59



Oba snímače nabízí velmi pěkné vizuální zpracování naměřených dat, které je v případě snímače Equimo zobrazováno na kruhu a jednotlivé barvy ukazují typ chodu a jeho poměr na levou a pravou stranu (Obr. 14). V případě snímače Equisense, tak zde je zobrazení grafické pomocí procent a dole je následně ukázáno rozložení v jednotlivých chodech (Obr. 15).



**Obr. 14:** Zobrazení poměru jízdy na levou a pravou stranu z aplikace ve snímači Equimo.



**Obr. 15:** Zobrazení poměru jízdy na levou a pravou stranu z aplikace ve snímači Equisense.

### 5.3 Korelace mezi sledovanými proměnnými

Mezi vybranými proměnnými byla provedena korelace. Porovnáním naměřených hodnot v kroku, klusu a cvalu je možné konstatovat, že data spolu vysoce korelují mezi odpovídajícími si proměnnými. Korelace přesahují hodnotu  $r = 0,9$  (Pearsonův korelační koeficient) značící silnou korelaci. Podrobné informace jsou uvedeny v Tab. 5.

**Tab. 5:** Pearsonův korelační koeficient mezi měřenými daty z Equima, Equisence a videozáznamu v základních chodech koní (krok, klus, cval).

<b>Vybrané proměnné</b>	<b>Videozáznam krok</b>	<b>Equisence krok</b>
<b>Equimo krok</b>	0,98	0,99
<b>Equisence krok</b>	0,98	x

<b>Vybrané proměnné</b>	<b>Klus</b>	<b>Equisence klus</b>
<b>Equimo klus</b>	0,97	0,97
<b>Equisence klus</b>	0,99	x

<b>Vybrané proměnné</b>	<b>Cval</b>	<b>Equisence cval</b>
<b>Equimo cval</b>	0,99	0,99
<b>Equisence cval</b>	0,99	x

Korelace byla také zjišťována mezi poměrem jízdy na levou stranu v kroku a dalších chodech. V kroku na levou stranu se prokázala velmi silná korelace mezi hodnotami naměřenými pomocí snímače Equimo a videozáznamem ( $r = 0,93$ ,  $P > 0,0009$ ), stejně tak při porovnání videozáznamu se snímačem Equisence ( $r = 0,83$ ,  $P > 0,0113$ ). O trochu slabší se ukázala korelace mezi hodnotami naměřenými pomocí snímače Equisence a videozáznamem ( $r = 0,78$ ), stejně tak při porovnání s Equimo snímačem, kde korelace vycházela  $r = 0,83$ . Obdobné výsledky vyšly pro korelaci mezi klusem na levou stranu z videa a daty získanými z Equimo snímače ( $r = 0,81$ ,  $P > 0,0155$ ) a v případě snímače Equisence korelace vycházela  $r = 0,74$  ( $P > 0,0364$ ). Výsledky pro korelace mezi podílem jízdy na levou stranu (ruku) a pravou stranu v kroku jsou uvedeny v Tab. 6, celkové výsledky z programu SAS jsou součástí přílohy 2.

**Tab. 6:** Korelace mezi jízdou na levou a pravou stranu u dat z videozáznamů, snímače Equimo a Equisense.

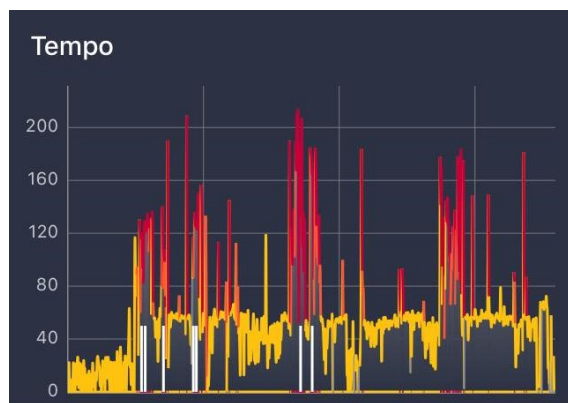
<b>Vybrané proměnné</b>	<b>Krok na levou stranu</b>	<b>Equisense krok na levou stranu</b>
<b>Equimo krok na levou stranu</b>	0,93	0,78
<b>Equisense krok na levou stranu</b>	0,83	x

<b>Vybrané proměnné</b>	<b>Krok na pravou stranu</b>	<b>Equisense pravou na levou stranu</b>
<b>Equimo na pravou stranu</b>	0,99	0,99
<b>Equisense krok na pravou stranu</b>	0,99	x

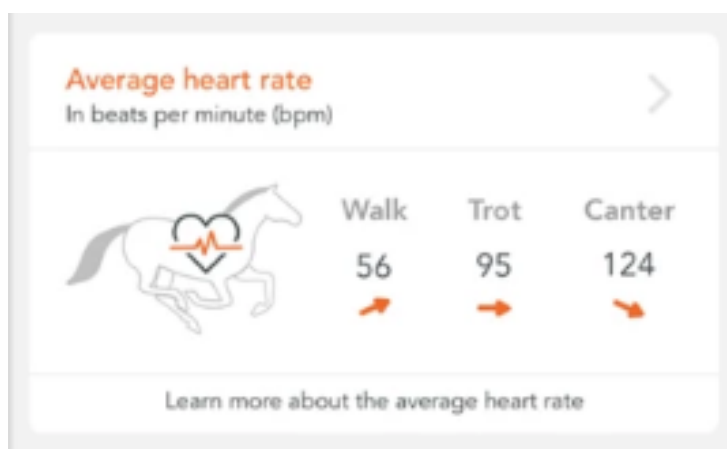
#### 5.4 Další zjištěné informace o pohybu koní

Z naměřených dat z pohybových snímačů bylo možné vidět, že každý z nich byl schopný určit polohu koně s jezdcem pomocí GPS parametrů a dle nich zaznamenat jejich rychlost a dráhu pohybu. Obě aplikace od snímačů Equimo a Equisense nabízejí možnost trackování trasy na mapě. Stejně tak jednotlivé snímače dokázaly rozpoznat jednotlivé chody (krok, klus, cval) u koní. V rámci jednotlivých aplikací Equimo i Equisense zobrazovaly délku pohybu koní v sekundách či minutách pro jednotlivé chody (Obr. 16).



**Obr. 16:** Zobrazení jednotlivých chodů a tempa pohybu ve snímači Equimo.

Hodnocení pravidelnosti pohybu koně, které je možné zjistit pomocí snímače Equisense z rovnoměrnosti pohybu diagonálních končetin v klusu na rovných liniích, nebylo možné mezi sebou porovnat z důvodu prázdných hodnot u několika měření. Snímač Equisense má také schopnost hodnotit tepové frekvence v jednotlivých chodech (Obr. 17). Nými nasbíraná data obsahovala nekompletní data označená písmenem N u jednotlivých měření viz Tab. 7. Z tohoto důvodu jsme je do podrobnější analýzy nezahrnovaly, protože je nebylo možné porovnat s naměřenými hodnotami z Polaru.



**Obr. 17:** Equisense a zobrazení srdečního tepu jednoho koně z měření (zleva: krok, klus, cval).

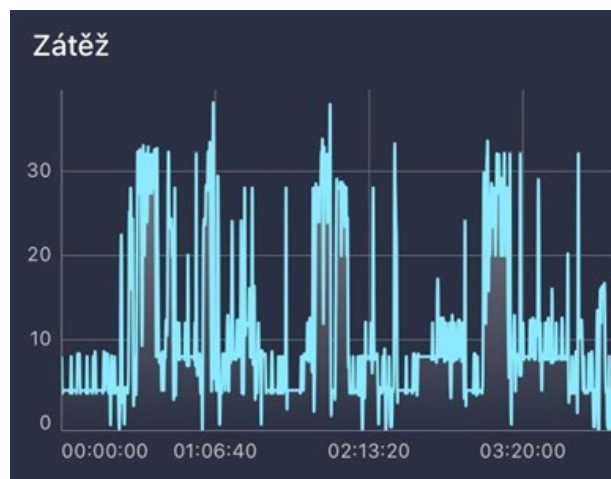
**Tab. 7:** Naměřený srdeční tep pomocí snímače Equisense.

Měření	Equisince_tep v kroku	Equisince_tep v klusu	Equisince_tep ve cvalu
Kůň 1	81	108	130
Kůň 2	N	N	N
Kůň 3	88	118	134
Kůň 3	50	N	97
Kůň 2	N	N	N
Kůň 1	74	99	95
Kůň 1	74	104	132
Kůň 3	111	130	139
Kůň 2	62	99	101

Oba snímače jsou schopné rozeznat skok v průběhu jezdecké lekce. Během našeho měření nebyl součástí ani jeden skok, ale v obou aplikacích se několik skoků objevilo u koně s pohybově prostornějšími chody s vyšší akcí a elevací. Z videozáznamů byly také sledovány počty přechodů mezi jednotlivými chody. Přičemž průměrně koně v průběhu jednoho měření provedli 47,62 přechodů  $\pm$  10,78 (sm. odchylka, videozáznam), ale z aplikace Equisense vychází v průměru 50 přechodů  $\pm$  11,09 (sm. odchylka). Equimo stejně jako Equisense nabízejí zobrazení intenzity práce a zátěže v průběhu lekcí (Obr. 18, 19).



**Obr. 18:** Equisense zobrazení zátěže v aplikaci.



**Obr. 19:** Equimo zobrazení zátěže v aplikaci.

Jednou z nabízených možností v případě snímače Equisense je měření míry elevace. Z výsledků naměřených dat ze snímače Equisense bohužel není možné nic významného usuzovat, jelikož i zde se objevily prázdné hodnoty (N) (Tab. 8).

**Tab. 8:** Elevace naměřená snímačem Equisense

Měření	Equisense_průměrná elevace (m)
Kůň 1	0
Kůň 2	N
Kůň 3	N
Kůň 3	0
Kůň 2	0
Kůň 1	0
Kůň 1	0
Kůň 3	0
Kůň 2	5

Na Obr. 20 jsou uvedeny komplexní výstupy z Equimo snímače, které jsou k dispozici pro zhodnocení kvality tréninku.



Obr. 20: Celkové zpracování získaných dat ze tří jezdeckých lekcí koně 2 v aplikaci Equimo.

## 5.5 Hodnocení jezdcem

Tab. 9 zobrazuje jezdcovo zhodnocení pocitů z jednotlivých jízd, které probíhaly během měření. Hodnocení probíhalo na stupnici od 1-10, přičemž 10 označuje nejlepší možné

hodnocení. Dále jezdec uvedl, že s koňmi pracoval na levou a pravou ruku stejně dlouho, kromě jedné jízdy 30.9., kdy uvedl, že čas se může lišit.

**Tab. 9:** Bodové zhodnocení jednotlivých jízd jezdcem.

<b>Jméno koně</b>	<b>Hodnocení jízdy (1-10) 30.9.</b>	<b>Hodnocení jízdy (1-10) 8.2.</b>	<b>Hodnocení jízdy (1-10) 4.3.</b>
<b>KŮŇ 1</b>	8	9	10
<b>KŮŇ 2</b>	10	10	10
<b>KŮŇ 3</b>	10	10	10



## 6 Diskuze

### 6.1 Zhodnocení

Zjištěné výsledky z naměřených dat pomocí snímačů a videozáznamů nabídly vzhled do dat o pohybu koní v průběhu jezdecké lekce. Ve výsledcích byly uvedeny popisné statistické parametry pro vybrané proměnné, jako je krok, klus a cval. Dále byla také porovnána data o poměru jízdy na levou a pravou stranu (ruku). Následně byla zjišťována korelace mezi jednotlivými typy naměřených dat. Ze získaných dat bylo možné sledovat změny v pohybu koní v průběhu tří měření, stejně jako vývoj každé jezdecké lekce v reálném čase. Díky velmi dobře zpracované vizuální stránce jednotlivých aplikací snímačů Equimo a Equisense je možné si reálná data velmi dobře představit.

Pro porovnání jednotlivých zjištěných hodnot neexistuje aktuálně žádná vědecká práce zabývající se těmito snímači jako tato diplomová práce. Řada studií se však zabývá podobnou tematikou a některé informace tak mohly být porovnány. Dle průzkumové analýzy dat vyšlo, že data získaná pomocí snímačů Equimo a Equisense se významně neliší od hodnot získaných pomocí videozáznamů. Shoda panovala především ve výstupech jako je čas v jednotlivých chodech a doba jízdy na levou a pravou ruku v jednotlivých chodech. Každý ze snímačů byl schopen pomocí GPS parametrů zaznamenat rychlost a dráhu pohybu. Některé proměnné bohužel nebylo možné porovnat kvůli nedostatku dat či chybějícím hodnotám.

At' už jde o trénink s koněm připravujícím se na závody, běžný trénink či trénink s koněm v rekonvalescenci, je užitečné znát jeho přesnou délku a aktuální podobu. Monitorování tréninků pomocí snímačů může poskytovat informace o různých detailech, které mohou pomoci zlepšit jejich efektivitu a snížit riziko zranění u koně. Vnímání času je poměrně subjektivní, a proto je přínosné mít pomůcku, která zaznamenává čas jízdy, a to i v jednotlivých chodech koně. Nejen, že se potvrdilo, že snímače jsou schopné rozpoznávat jednotlivé chody, ale poskytují také poměrně přesné informace o čase, který v nich kůň strávil. Rozložení jízdy Equimo udává v přehledném podkovovém grafu, ve kterém jsou zobrazeny jednotlivé chody a kruhy symetrie. Z grafů bylo možné vypočítat čas strávený v jednotlivých chodech (krok, klus, cval) a procentuální rozdělení pohybu doleva a doprava. Rozložení pohybu je pomocí Equisense zobrazeno barevným kruhem, ze kterého bylo možné odečíst dobu strávenou v jednotlivých chodech (zastavení, krok, klus, cval) a pomocí funkce pro zobrazení práce na levou a pravou ruku bylo získáno procentuální rozdělení o jejich poměru. V našem měření jezdec uvedl, že s koňmi pracoval na obě strany stejně dlouho kromě měření, které proběhlo 30.9. s koněm 3. Bodové zhodnocení jednotlivých jízd je uvedeno v Tab. 9. Výsledné hodnoty získané pomocí vybraných snímačů a videozáznamů však naznačují nepoměr při jízdě na jednotlivé strany. Skutečnost, že práce na levou stranu převažuje, může být způsobena tím, že jezdec je levák a upřednostňuje tak jízdu na tuto stranu. Roli může hrát také fakt, že jezdec zohledňuje stranovou preferenci jednotlivých koní, kteří na tuto stranu pracují ochotněji. Sledování symetrie jízdy pomocí snímačů může pomoci k sestavení vyváženého tréninku při práci s koněm a předejít tak možným zdravotním komplikacím. Časté nevyvážené jízdy mohou vést k nerovnoměrnému osvalení koňského těla, což může mít za následek špatnou rovnováhu a potíže pohybového aparátu koně. To uvádí i studie Merkies et al. (2020), která

zmiňuje, že u koní, kteří nebyli správně trénováni a ježděni, může dojít ke vzniku asymetrického osvalení. Podle (Greve et al. 2015) se na asymetrickém osvalení může podílet také špatně padnoucí sedlo a ve své studii doporučují, aby sedlo bylo pravidelně kontrolováno před a po tréninku. I zkušený jezdec, který se snaží hlídat čas při práci s koněm, se může nevědomky dopustit chyb v podobě špatně rozložené práce na levou a pravou stranu. Informace o symetrii je také možné využít v rámci potřebné rehabilitace, kdy veterinář či jiný odborník stanovil přesný časový rozvrh práce. Využití snímačů tak může být dobrým pomocníkem při sledování těchto údajů jak v reálném čase, tak i při zpětném analyzování jednotlivých tréninků.

Díky možnosti sledování dat jak v reálném čase, tak i při zpětném prohlížení, pomáhají snímače Equimo i Equisense při sledování pokroku ve výcviku. Pro důkladné zhodnocení možného pokroku v této diplomové práci by bylo potřeba více získaných dat z většího počtu měření. Fakt, že snímače mohou být vhodnou alternativou trenéra při získávání zpětné vazby o tréninku, uvádí i Thompson et al. (2015), kteří vyvinuli pomocí WAX9 IMU snímače rámec pro snímání a analýzu pohybu, který generuje kvalitní zpětnou vazbu pro drezurní cvičení s možností ukázat, kde a jak by jezdec mohl zlepšit svůj výkon.

Equisense poskytuje údaje o pravidelnosti pohybu, kdy dochází k porovnávání diagonálních párů končetin v klusu na rovné linii. Bohužel kvůli nedostatku dat, nebylo možné tyto údaje porovnat mezi jednotlivými měřeními. Pro vypočítání symetrie je nutné klusat na rovné linii po dobu alespoň 6 sekund, přičemž celkový čas musí být minimálně 20 sekund. Při dodržení těchto podmínek může snímač pomoci při odhalení kulhání u koně. Například Serra Bragança et al. (2018) uvádí, že objektivní analýza pohybu pomocí moderních snímačů má své opodstatnění při běžném klinickém hodnocení kulhání. Tento přístup může být mimořádně relevantní, zejména v případech mírného kulhání a také při porovnávání opakovaných měření mezi intervencemi (Serra Bragança et al. 2018). Kulháním se také zabývali Yigit et al. (2020), kteří vytvořili vícevrstvý klasifikátor pomocí pěti nositelných IMU snímačů, který rozpoznává chody koně a krok za krokem detekuje a identifikuje možné kulhání.

V plánu bylo také zařadit srovnání naměřených hodnot srdečního tepu pomocí Equisense snímače a Polaru. Bohužel z důvodů, kdy se pás u snímače Equisense během jízdy dvakrát uvolnil a během dvou měření nezaznamenal žádná data, bylo od této myšlenky upuštěno. Nicméně snímání srdečního tepu má v jezdeckví velký potenciál, například studie Norton et al. (2018) ukázaly slibné výsledky směrem k nalezení spolehlivého a objektivního měřítka pro posouzení vhodnosti policejních koní měřením jejich relativního stresu pomocí Polar Equine RS800CX.

Rychlost a metriky kroku se zdají být nejjednodušší a nejběžnější údaje k zachycení pomocí nositelného sensorového zařízení (Egan et al. 2020). (Egan et al. 2020) uvádí, že při dotazu na existující technologie bylo nejčastěji uváděné využití technologií objektivní analýzy pohybu pro kvantifikaci délky kroku a při detekci kulhání. To potvrzuje i řada existujících studií, ve kterých jsou využívány právě snímače pro analýzu pohybu koně. Například. Serra Bragança et al. (2020) se zaměřili na popis metody pro přesnou a plně automatizovanou klasifikaci chůze u koní pomocí IMU sensorů. Některé specifické vlastnosti chodů bylo možné identifikovat snadno, například symetrie a laterálita. Klasifikace pomocí jednoho senzoru poskytovala špatnou přesnost (max 79,9 %), nejvyšší pozorovaná přesnost

(95,5 %) byla při použití všech snímačů, které byly umístěny na týl, kohoutek, pánev a všechny končetiny.

Je zřejmé, že moderní snímače mohou hrát velkou roli při zvýšení efektivity tréninku koně. Nicméně pomalé přijetí objektivních technologií v aplikované oblasti může být dle Richardson et al. (2019) způsobeno tradiční povahou jezdeckví, která se zdá být skeptickou směrem ke změně stávajících postupů, které se již ukázaly jako úspěšné. Richardson et al. (2019) dále zdůrazňují nutnost efektivní strategie rozšíření a zvýšení iniciativy vzdělávání, které demonstrují možné využití technologií a jejich uplatnění v průmyslové praxi.

## 6.2 Praktické problémy snímačů

Pro správnou funkci snímačů je důležité jejich správné upevnění. Manipulace s Equimo snímačem je poměrně jednoduchá, snímač stačí připnout do středu podsedlové dečky a jezdcem vybavit chytrým telefonem. Během všech měření (přibližně 9 hodin jízdy) se Equimo jednou uvolnilo a z podsedlové dečky odpadlo, důvodem bylo pravděpodobně špatné zacvaknutí k dečce. Mezi další příčiny může patřit také jezdcovo zavazování o snímač, například při výměně biče z jedné ruky do druhé. Obzvláště v terénu je dobré se těmto chybám vyvarovat, snímač je poměrně malý a jeho hledání by tak bylo velmi obtížné. Equisense snímač je nutné umístit na střed podbřišníku a pás s elektrodami umístit pod podsedlovou dečku koně. Během jednotlivých jízd bylo nutné pás a jeho umístění pravidelně kontrolovat při každém dotahování podbřišníku. Při měření se dvakrát stalo, že se pás umístěný pod podsedlovou dečkou během jízdy uvolnil. V prvním případě to bylo pravděpodobně způsobeno rychlými úskoky koně, který se polekal a v druhém případě kůň lehce vyhazoval a uskakoval z rozrušení. Mezi další problémy při měření patřila nejspíše hustá srst koně, skrz kterou i přes důkladné potření gelem, špatně pronikal signál. Speciální podsedlová dečka, kterou by bylo možné pás provléknout, by mohla pomoci při upevnění pásu pro lepší měření srdeční frekvence. Nasazení Polaru je jednoduché, při umístění pod sedlo je však potřeba dát pozor a pás pravidelně kontrolovat. Pás s Polarem občas klouže a může se tak nevhodně přesunout pod podbřišník, kde může být koni nepříjemný.

Obecně je jedním z nejčastějších důvodů neúspěšného nebo nepředvídatelného sběru dat problém s napájením (Randle et al. 2017). Randle et al. (2017) upozorňují, že je důležité zajistit, aby byly baterie záznamového zařízení před sběrem dat plně nabité, aby vydržely po dobu trvání sběru dat. Při začátku našeho měření byl chytrý telefon vždy nabitý na 100 %, protože aplikace snímačů spotřebovávají baterii telefonu poměrně rychle. Pro jistotu byla během měření po ruce nabitá záložní power banka.

Při práci v hale je také nutné mít na paměti, že měření pomocí GPS může mít sníženou přesnost. To ve své studii potvrzují i Lindner & Brand (2020), kteří upozorňují na možné zkreslení dat také kvůli topografii, vegetačním charakteristikám prostředí a technologickým faktorům (např. počet přítomných satelitů). Lindner & Brand (2020) doporučují nejprve ověřit přesnost GPS zařízení v takových podmínkách, ve kterých budou následně využity.

Za zmínku také stojí finanční stránka snímačů. Randle et al. (2017) ve své práci uvádí, že většina výzkumů využívající technologické vybavení je poměrně nákladná. Zohlednit je potřeba počáteční výdaje, výdaje na údržbu a případné náklady na licence softwarů a aktualizací

(Randle et al. 2017). V současné době však existuje řada komerčně dostupných snímačů za přijatelnou cenu. Jednotlivé aplikace nabízí zdarma omezené funkce (sledování trasy, rychlost, vzdálenost) i bez zakoupeného snímače.

## 7 Závěr

Výsledky práce prokázaly spolehlivost vybraných snímačů (Equimo, Equisense) u sledovaných parametrů a potvrdil se tak původní předpoklad, že se sledované proměnné nebudou významně lišit od hodnot získaných pomocí videozáznamů. Cílem práce bylo kromě porovnání a zhodnocení sledovaných proměnných také zmapování komerčně nabízených snímačů a jejich možné uplatnění ve vědě.

Mezi hlavní sledované proměnné patřil čas strávený v jednotlivých chodech koně a čas strávený jízdou na levou a pravou ruku v jednotlivých chodech (krok, klus, cval). Některé proměnné bohužel nebylo možné porovnat ani s videozáznamem, ani mezi jednotlivými snímači. Například zobrazení intenzity a zátěže, míry elevace, pravidelnosti a dalších parametrů by bylo vhodné porovnat na základě více provedených měření a s využitím více snímačů.

Přínosem této práce je přiblížení a možné využití moderních snímačů. Tyto poznatky by mohly sloužit jak jezdcům a chovatelům koní, tak i pro vědecké účely. Upozornění na praktické problémy může pomoci při získávání dat v budoucnu. U námi naměřených dat by bylo možné provést i detailnější analýzu, nicméně k měření by bylo vhodné využít více koní.

## 8 Literatura

- Back W, Clayton HM. 2013. Equine Locomotion-E-Book, 2nd edition. Elsevier Health Sciences.
- Baragli P, Padalino B, Telatin A. 2015. The role of associative and non-associative learning in the training of horses and implications for the welfare (a review). *Annali dell'Istituto Superiore di Sanita* **51**:40–51.
- Barrey E, Evans SE, Evans DL, Curtis RA, Quinton R, Rose RJ. 2001. Locomotion evaluation for racing in thoroughbreds. *Equine Veterinary Journal* **33**(S33):99–103.
- Bennett D. 2008. Timing and rate of skeletal maturation in horses, With Comments on Starting Young Horses and the State of the Industry. Available from [http://www.equinestudies.org/ranger\\_2008/ranger\\_piece\\_2008\\_pdf1.pdf](http://www.equinestudies.org/ranger_2008/ranger_piece_2008_pdf1.pdf) (accessed November 2021).
- Biknevičius AR, Mullineaux DR, Clayton HM. 2006. Locomotor mechanics of the tölt in Icelandic horses. *American Journal of Veterinary Research* **67**:1505–1510.
- Bosch S, Serra Bragança F, Marin-Perianu M, Marin-Perianu R, van der Zwaag BJ, Voskamp J, Back W, van Weeren R, Havinga P. 2018. Equimoves: A wireless networked inertial measurement system for objective examination of horse gait. *Sensors (Switzerland)* **18**
- Brain L, Rogers LJ. 2009. Hand and Paw Preferences in Relation to the lateralized brain. Source: *Philosophical Transactions: Biological Sciences* **364**:943–954.
- Briggs E v, Mazzà C. 2021. Automatic methods of hoof-on and -off detection in horses using wearable inertial sensors during walk and trot on asphalt, sand and grass. *PLoS ONE* **16** (e0254813) DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254813>.
- Brložnik M, Domanjko Petrič A, Kadunc Kos V, Rashkovska A, Avbelj V. 2019. Wireless Body Sensor for Electrocardiographic Monitoring in Equine Medicine. 2019 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO) 279-283.
- Brown NAT, Kawcak CE, McIlwraith CW, Pandy MG. 2003. Architectural Properties of Distal Forelimb Muscles in Horses, *Equus caballus*. *Journal of Morphology* **258**:106–114.
- Budras K-D, Sack WO, Röck S. 2012. Anatomy of the horse, 6th edition. Schlütersche.
- Byström A, Clayton HM, Hernlund E, Roepstorff L, Rhodin M, Bragança FS, Engell MT, van Weeren R, Weishaupt MA, Egenvall A. 2021. Asymmetries of horses walking and trotting on treadmill with and without rider. *Equine Veterinary Journal* **53**:157–166
- Byström A, Egenvall A, Roepstorff L, Rhodin M, Bragança FS, Hernlund E, van Weeren R, Weishaupt MA, Clayton HM. 2018. Biomechanical findings in horses showing asymmetrical vertical excursions of the withers at walk. *PLoS ONE* **13** (e0204548) DOI: [10.1371/journal.pone.0204548](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204548).

- Castejon-Riber C, Riber C, Rubio MD, Agüera E, Muñoz A. 2017. Objectives, Principles, and Methods of Strength Training for Horses. *Journal of Equine Veterinary Science* **56**:93–103.
- ČJF. 2018. Zkoušky základního výcviku jezdce ČJF. Available from [http://www.cjf.cz/files/stranky/vzdelavani/zzvj/2018\)/CJF%20skripta.pdf](http://www.cjf.cz/files/stranky/vzdelavani/zzvj/2018)/CJF%20skripta.pdf) (accessed January 2022).
- Clayton HM. 1991. *Conditioning Sport Horses*, 1st edition. Sport Horse Publications.
- Clayton HM. 1994a. Comparison of the collected, working, medium, and extended canters. *Equine Veterinary Journal* **17**:16–19.
- Clayton HM. 1994b. Comparison of the stride kinematics of the collected, working, medium and extended trot in horses. *Equine Veterinary Journal* **26**:230–234.
- Clayton HM. 2016. Horse species symposium: Biomechanics of the exercising horse. *Journal of Animal Science* **94**:4076–4086.
- Clayton HM, Hobbs SJ. 2017. The role of biomechanical analysis of horse and rider in equitation science. *Applied Animal Behaviour Science* **190**:123–132.
- Clayton HM, Mackechnie-guire R, Byström A, le Jeune S, Egenvall A. 2021. Guidelines for the measurement of rein tension in equestrian sport. *Animals* **11**:1–17.
- Darbandi H, Bragança FS, van der Zwaag BJ, Voskamp J, Gmel AI, Haraldsdóttir EH, Havinga P. 2021. Using different combinations of body-mounted IMU sensors to estimate speed of horses-A machine learning approach. *Sensors* **21**:1–12.
- de Cocq P, Muller M, Clayton HM, van Leeuwen JL. 2013. Modelling biomechanical requirements of a rider for different horse-riding techniques at trot. *Journal of Experimental Biology* **216**:1850–1861.
- Denoix J-Marie. 2014. *Biomechanics and physical training of the horse*, 1st edition. CRC Press.
- Doherty O, McGreevy PD, Pearson G. 2017. The importance of learning theory and equitation science to the veterinarian. *Applied Animal Behaviour Science* **190**:111–122.
- Dumbell L, Lemon C, Williams J. 2019. A systematic literature review to evaluate the tools and methods used to measure rein tension. *Journal of Veterinary Behavior* **29**:77–87.
- Dušek J, Misař D, Müller Z, Navrátil J, Rajman J, Tluchoř V, Žlumov P. 2011. *Chov koní*, 3rd edition. Brázda, Praha.
- Dyson S. 2002. Lameness and poor performance in the sport horse: dressage, show jumping and horse trials. *Journal of Equine Veterinary Science* **22**:145–150.
- Dyson S, Carson S, Fisher M. 2015. Saddle fitting, recognising an ill-fitting saddle and the consequences of an ill-fitting saddle to horse and rider. *Equine Veterinary Education* **27**:533–543.
- Egan S, Brama PAJ, McGrath D. 2020. End-user practices in equine movement analysis: The potential of objective analysis tools to meet their needs. *Proceedings of the Institution of*

- Mechanical Engineers, Part P: *Journal of Sports Engineering and Technology* **234**:136–145.
- 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**:35–45.
- Equimo. 2021. Příručka. Jak využít Equimo na maximum. Available from [https://uploads-ssl.webflow.com/5e4a130bae75027da3eead60/60b0d03aa78402049058b761\\_cz-equimo-manual.pdf](https://uploads-ssl.webflow.com/5e4a130bae75027da3eead60/60b0d03aa78402049058b761_cz-equimo-manual.pdf) (accessed February 2022).
- Equimo. Equimo - horse training tracker, application and analysis. Available from <https://www.equimo.com/> (accessed December 2021).
- Equinity Technology Limited. 2021. equinITy intelligent training. Available from <https://equinitytechnology.com/> (accessed February 2022).
- Equinosis. 2022. The Equinosis with lameness locator Measurably Better Lameness Care. Available from <https://equinosis.com/> (accessed February 2022).
- Equisense. 2021. Connected attachments and girths to analyse the physical condition, movement and progress of your horse. Simply, on your phone. Available from <https://help.equisense.com/l/en> (accessed January 2022).
- Evans DL. 2000. Training and fitness in athletic horses. Rural Industries Research and Development Corporation, Sydney.
- Goodwin D, McGreevy PD, Waran N, McLean AN. 2009. How equitation science can elucidate and refine horsemanship techniques. *The Veterinary Journal* **181**:5–11.
- Greve L, Murray R, Dyson S. 2015. Subjective analysis of exercise-induced changes in back dimensions of the horse: The influence of saddle-fit, rider skill and work quality. *The Veterinary Journal* **206**:39–46.
- Hawson LA, McLean AN, McGreevy PD. 2010. The roles of equine ethology and applied learning theory in horse-related human injuries. *Journal of Veterinary Behavior* **5**:324–338.
- Hawson LA, Salvin HE, McLean AN, McGreevy PD. 2014. Riders' application of rein tension for walk-to-halt transitions on a model horse. *Journal of Veterinary Behavior* **9**:164–168.
- Higgins G, Martin S. 2009. *Koně a jejich pohyb: Unikátní vizuální průvodce biomechanikou koňského těla*. Metafora, Praha.
- Hildebrand M. 1965. Symmetrical Gaits of Horses. *Science* **150**:701–708.
- Hildebrand M. 1977. Analysis of Asymmetrical Gaits. *Journal of Mammalogy* **58**:131–156.
- Hodgson DR, McKeever KH, McGowan CM. 2013. *The Athletic Horse: Principles and Practice of Equine Sports Medicine*, 2nd edition. Elsevier Health Sciences.
- Horseteq. Knowledge from Every Step Invaluable insight into your horse's wellness and performance – effortlessly. Available from <http://www.horseteq.com/en/frontpage/> (accessed February 2022).



- Ipos. 2020. Train with data and better understand your horse. Available from <https://www.ipostechnology.com/> (accessed February 2022).
- ISES. 2018. Principles of learning theory in equitation. Available from <https://equitation-science.com/learning-theory/> (accessed November 2021).
- Kawcak C, McIlwraith W, Firth E. 2010. Effects of early exercise on metacarpophalangeal. *American journal of veterinary research* **71**:405–411.
- Kawcak CE, McIlwraith CW, Norrdin RW, Park RD, James SP. 2001. The role of subchondral bone in joint disease: a review. *Equine Veterinary Journal* **33**:120–126.
- Keegan KG. 2007. Evidence-Based Lameness Detection and Quantification. *Veterinary Clinics of North America - Equine Practice* **23**:403–423.
- Khelifi A, Hamli R al, Tamimi S al, Ali R al. 2017. An Automated System for Monitoring Horses Vital Signs Using Heart Beat Sensors. 2017 Palestinian International Conference on Information and Communication Technology (PICICT) :53–59.
- King S, Wills L, Randle H. 2019. Early training of foals using the ISES training principles. *Journal of Veterinary Behavior* **29**:140–146.
- Leach DH, Ormrod K, Clayton HM. 1984. Standardised terminology for the description and analysis of equine locomotion. *Equine Veterinary Journal* **16**:522–528.
- Lepeule J, Bareille N, Robert C, Valette JP, Jacquet S, Blanchard G, Denoix JM, Seegers H. 2013. Association of growth, feeding practices and exercise conditions with the severity of the osteoarticular status of limbs in French foals. *The Veterinary Journal* **197**:65–71.
- Li J, Wang Z, Qiu S, Zhao H, Wang J, Shi X, Liu L, Yang N. 2019. Study on Horse-Rider Interaction Based on Body Sensor Network in Competitive Equestrian. *IEEE Transactions on Affective Computing*. *IEEE* **13**:553–567.
- Lindner A, Brand A. 2020. Global Positioning System–Determined and Stopwatch–Determined Running Speeds of Horses Differ. *Journal of Equine Veterinary Science* **84**.
- MacKechnie-Guire R, MacKechnie-Guire E, Fairfax V, Fisher M, Hargreaves S, Pfau T. 2020. The Effect That Induced Rider Asymmetry Has on Equine Locomotion and the Range of Motion of the Thoracolumbar Spine When Ridden in Rising Trot. *Journal of Equine Veterinary Science* **88**.
- McGreevy PD. 2007. The advent of equitation science. *The Veterinary Journal* **174**:492–500.
- McGreevy PD, McLean AN. 2007. Roles of learning theory and ethology in equitation. *Journal of Veterinary Behavior* **2**:108–118.
- McGreevy PD, Oddie C, Burton FL, McLean AN. 2009. The horse-human dyad: Can we align horse training and handling activities with the equid social ethogram? *The Veterinary Journal* **181**:12–18.
- McLean AN, Christensen JW. 2017. The application of learning theory in horse training. *Applied Animal Behaviour Science* **190**:18–27.

- McLean AN, McGreevy PD. 2010. Horse-training techniques that may defy the principles of learning theory and compromise welfare. *Journal of Veterinary Behavior* **5**:187–195.
- Merkies K, Alebrand J, Harwood B, LaBarge K, Scott L. 2020. Investigation into thoracic asymmetry in ridden horses. *Comparative Exercise Physiology* **16**:55–62.
- Metcalf B. 2019. Boost to horse welfare and performance thanks to new monitoring device. An innovative sensor platform, developed by Dr Ben Metcalfe, promises to offer new horse health insights to improve welfare and performance in horse racing. Available from <https://www.bath.ac.uk/announcements/boost-to-horse-welfare-and-performance-thanks-to-new-monitoring-device/> (accessed April 2022).
- Mills DS. 1998. Applying learning theory to the management of the horse: the difference between getting it right and getting it wrong. *Equine Veterinary Journal* **27**:44–48.
- Mora-Carreno, Briones, Galecio, JS, Parra, Rosenfeld, Schmeisser, Menarim. 2014. Main musculoskeletal injuries associated with lameness in Chilean Rodeo horses. *Archivos de Medicina Veterinaria* **46**:419-424.
- Nicodemus MC, Clayton HM. 2003. Temporal variables of four-beat, stepping gaits of gaited horses. *Applied Animal Behaviour Science* **80**:133–142.
- Norton T, Piette D, Exadaktylos V, Berckmans D. 2018. Automated real-time stress monitoring of police horses using wearable technology. *Applied Animal Behaviour Science* **198**:67–74.
- Payne RC, Hutchinson JR, Robilliard JJ, Smith NC, Wilson AM. 2005. Functional specialisation of pelvic limb anatomy in horses (*Equus caballus*). *Journal of Anatomy* **206**:557–574.
- Payne RC, Veenman P, Wilson AM. 2004. The role of the extrinsic thoracic limb muscles in equine locomotion. *Journal of Anatomy* **205**:479–490.
- Perkins NR, Reid SWJ, Morris RS. 2005. Risk factors for injury to the superficial digital flexor tendon and suspensory apparatus in Thoroughbred racehorses in New Zealand. *New Zealand Veterinary Journal* **53**:184–192.
- Pfau T, Boulton H, Davis H, Walker A, Rhodin M. 2016. Agreement between two inertial sensor gait analysis systems for lameness examinations in horses. *Equine Veterinary Education* **28**:203–208.
- Pfau T, Weller R. 2017. Comparison of a standalone consumer grade smartphone with a specialist inertial measurement unit for quantification of movement symmetry in the trotting horse. *Equine Veterinary Journal* **49**:124–129. Equine Veterinary Journal Ltd.
- Pierard M, Hall C, König von Borstel U, Averis A, Hawson L, McLean AN, Nevison C, Visser K, McGreevy P. 2015. Evolving protocols for research in equitation science. *Journal of Veterinary Behavior* **10**:255–266.
- Pilliner Sarah, Elmhurst Samantha, Davies Zoe. 2002. *The horse in motion: the anatomy and physiology of equine locomotion*. Blackwell Science.

- Polar Electro. 2022. Polar Horse heart rate monitors. Available from <https://www.polar.com/en/products/horse-heart-rate-monitors> (accessed March 2022).
- Protequus. 2022. Nightwatch Equine Distress & Welness Monitor. Available from <https://www.smarthalter.com/> (accessed February 2022).
- Randle H, Steenbergen M, Roberts K, Hemmings A. 2017. The use of the technology in equitation science: A panacea or abductive science? *Applied Animal Behaviour Science* **190**:57–73.
- Richards J, Hobbs S, Levine D, Clayton H, Tate J, Walker R. 2010. Motion analysis and its use in equine practice and research. *Wiener Tierärztliche Monatsschrift* **97**:55–64.
- Richardson TH, Collins R, Williams JM. 2019. Sport Science Relevance and Integration in Horseracing: Perceptions of UK Racehorse. *Comparative Exercise Physiology* **16**:1–16.
- Rogers CW, Bolwell CF, Tanner JC, van Weeren PR. 2012. Early exercise in the horse. *Journal of Veterinary Behavior* **7**:375–379.
- Rogers CW, Dittmer KE. 2019. Does juvenile play programme the equine musculoskeletal system? *Animals* **9**:1–12.
- Rogers CW, Firth EC, McIlwraith CW, Barneveld A, Goodship AE, Kawcak CE, Smith RKW, van Weeren PR. 2008. Evaluation of a new strategy to modulate skeletal development in Thoroughbred performance horses by imposing track-based exercise during growth. *Equine Veterinary Journal* **40**:111–118.
- Rogers CW, Gee EK, Dittmer KE. 2021. Growth and Bone Development in the Horse: When Is a Horse Skeletally Mature? *Animals* **11**:3402.
- Rose RJ, Evans DL. 1990. Training horses - art or science? *Equine Veterinary Journal* **22**:2–4.
- Seaver. 2021a. A variety of technologies for the benefit of horse and rider. Available from <https://seaverhorse.com/> (accessed February 2022).
- Seaver. 2021b. Connecting with our horses. Available from [https://uploads-ssl.webflow.com/5c73be0a2d05cea04399e083/5d68fb52677c2a1c22f2acf6\\_Livre%20blanc%20Seaver%20ENG.pdf](https://uploads-ssl.webflow.com/5c73be0a2d05cea04399e083/5d68fb52677c2a1c22f2acf6_Livre%20blanc%20Seaver%20ENG.pdf) (accessed February 2022).
- Serra Bragança FM et al. 2020. Improving gait classification in horses by using inertial measurement unit (IMU) generated data and machine learning. *Scientific Reports* **10**:1–9.
- Serra Bragança FM, Rhodin M, van Weeren PR. 2018. On the brink of daily clinical application of objective gait analysis: What evidence do we have so far from studies using an induced lameness model? *The Veterinary Journal* **234**:11–23.
- Smith RK, Birch H, Patterson-Kane J, Firth EC, Williams L, Cherdchutham W, van Weeren WR, Goodship AE. 1999. Should equine athletes commence training during skeletal development?: changes in tendon matrix associated with development, ageing, function and exercise. *Equine Veterinary Journal* **30**:201–209.
- Starling M, McLean AN, McGreevy P. 2016. The contribution of equitation science to minimising horse-related risks to humans. *Animals* **6**:1–13.

- Strand E, Braathen LC, Hellsten MC, Huse-Olsen L, Bjornsdottir S. 2007. Radiographic closure time of appendicular growth plates in the Icelandic horse. *Acta Veterinaria Scandinavica* **49**:1–7.
- Stride Innovations Limited. 2021. Estride - PRECISION PRO Next Gen Trackers for Fitness, Lameness & Rehabilitation. Available from <https://www.estrade.store/> (accessed February 2022).
- Thompson R, Kyriazakis I, Holden A, Olivier P, Plötz T. 2015. Dancing with Horses: Automated quality feedback for dressage riders. *Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing* 325–336.
- van Weeren PR, Pfau T, Rhodin M, Roepstorff L, Serra Bragança F, Weishaupt MA. 2017. Do we have to redefine lameness in the era of quantitative gait analysis? *Equine Veterinary Journal* **49**:567–569.
- Waran N, Randle H. 2017. What we can measure, we can manage: The importance of using robust welfare indicators in Equitation Science. *Applied Animal Behaviour Science* **190**:74–81.
- Watson JC, Wilson AM. 2007. Muscle architecture of biceps brachii, triceps brachii and supraspinatus in the horse. *Journal of Anatomy* **210**:32–40.
- Williams J. 2012. Gait analysis: an introduction to its use for clinical evaluation and performance assessment of the equine athlete. Available from <https://www.theveterinarynurse.com/review/article/gait-analysis-an-introduction-to-its-use-for-clinical-evaluation-and-performance-assessment-of-the-equine-athlete> (accessed March 2022).
- Williams J, Tabor G. 2017. Rider impacts on equitation. *Applied Animal Behaviour Science* **190**:28–42.
- Yigit T, Han F, Rankins E, Yi J, Mckeever K, Malinowski K. 2020. Wearable IMU-based Early Limb Lameness Detection for Horses using Multi-Layer Classifiers. *2020 IEEE 16th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)* 955-96.

## 9 Samostatné přílohy

### 9.1 Příloha I – Podrobný popis sledovacího dne

Čas	Kůň	Procedura	Poznámky
9:00	Příjezd	Nachystání Polarů, snímačů a Pixia v hale	Změřit koně – délka těla, výška v kohoutku, šířka holeně
9:15	Koně 1,2,3	Nasazení Polarů	Habituační na Polar (5 min), Snímání tepu 10 min?
9:30	Kůň 2 a 3	Sundání Polarů	Odvedení do výběhu
9:35	Kůň 1	Vyčištění, nasedání koně	nasazení snímačů: Equimo, Equisense, Polar
9:40	Kůň 1	Zapnutí kamery Pixio v hale, Polar hodinky pro jezdce-kontrola pro měření vzdálenosti dle GPS dat	Okrokování koně, habituace na prostředí, naměřit délku kroku
9:50	Kůň 1	Základní jízdářská práce – rozehrání/ uvolnění koně	
10:00	Kůň 1	Začátek měření 1) Rovné linie v pohybu podél stěny - krok, klus, cval, diagonály 2) zastavení	Hodnotit přechody mezi chody a zastavení (20 minut)
10:20	Kůň 1	Kruh – velký - krok, klus, cval, zastavení	Hodnotit přechody mezi chody a zastavení
10:30	Kůň 1	Konec měření	
10:30 – 10:45	Pauza	Odvedení koně 1, přivedení koně 2 z výběhu	
10:45	Kůň 2	Vyčištění, nasedání koně	nasazení snímačů: Equimo, Equisense, Polar
10:50	Kůň 2	Zapnutí kamery Pixio v hale, Polar hodinky pro jezdce-kontrola pro měření vzdálenosti dle GPS dat	Okrokování koně, habituace na prostředí, naměřit délku kroku
11:00	Kůň 2	Základní jízdářská práce – rozehrání/ uvolnění koně	

11:10	Kůň 2	Začátek měření 1) Rovné linie v pohybu podél stěny - krok, klus, cval, diagonály 2) zastavení	Hodnotit přechody mezi chody a zastavení (20 minut)
11:30	Kůň 2	Kruh – velký - krok, klus, cval, zastavení	Hodnotit přechody mezi chody a zastavení
11:40	Kůň 2	Konec měření	
11:40 – 11:45	Pauza	Odvedení koně 2 a přivedení koně 3 z výběhu	
11:45	Kůň 3	Vyčištění, nasedání koně	nasazení snímačů: Equimo, Equisense, Polar
12:00	Kůň 3	Zapnutí kamery Pixio v hale, Polar hodinky pro jezdce - kontrola pro měření vzdálenosti dle GPS dat	Okrokování koně, habituace na prostředí, naměřit délku kroku
12:10	Kůň 3	Základní jízdářská práce – rozehrání/ uvolnění koně	
12:20	Kůň 3	Začátek měření 1) Rovné linie v pohybu podél stěny - krok, klus, cval, diagonály 2) zastavení	Hodnotit přechody mezi chody a zastavení (20 minut)
12:40	Kůň 3	Kruh – velký - krok, klus, cval, zastavení	Hodnotit přechody mezi chody a zastavení
12:50	Kůň 3	Konec měření	

## 9.2 Příloha II – Podrobné výsledky korelací mezi podíly jízdy na levou a pravou ruku pro jednotlivé chody koní

Proměnné krokL a krokP jsou data získaná analýzou videozáznamů. Proměnné označené jako EkrokL a EkrokP jsou data získaná snímačem Equimo, SkrokL a SkrokP jsou data ze snímače Equisense. Dále již dle stejné logiky pro ostatní chody.

Pearson Correlation Coefficients						
Prob >  r  under H0: Rho=0						
Number of Observations						
	krokL	krokP	klusL	klusP	cvalL	cvalP
SkrokL	0.82714	-0.82714	0.45651	-0.45651	0.52425	-0.52425
	0.0113	0.0113	0.2555	0.2555	0.1823	0.1823
	8	8	8	8	8	8
SkrokP	-0.82714	0.82714	-0.45651	0.45651	-0.52425	0.52425
	0.0113	0.0113	0.2555	0.2555	0.1823	0.1823
	8	8	8	8	8	8
SklusL	0.14459	-0.14459	0.73855	-0.73855	0.47895	-0.47895
	0.7327	0.7327	0.0364	0.0364	0.2299	0.2299
	8	8	8	8	8	8
SklusP	-0.14459	0.14459	-0.73855	0.73855	-0.47895	0.47895
	0.7327	0.7327	0.0364	0.0364	0.2299	0.2299
	8	8	8	8	8	8
ScvalL	0.81510	-0.81510	0.60985	-0.60985	0.96290	-0.96290
	0.0137	0.0137	0.1084	0.1084	0.0001	0.0001
	8	8	8	8	8	8
ScvalP	-0.81510	0.81510	-0.60985	0.60985	-0.96290	0.96290
	0.0137	0.0137	0.1084	0.1084	0.0001	0.0001
	8	8	8	8	8	8
EkrokL	0.92692	-0.92692	0.43204	-0.43204	0.72496	-0.72496
	0.0009	0.0009	0.2851	0.2851	0.0419	0.0419
	8	8	8	8	8	8
EkrokP	-0.92692	0.92692	-0.43204	0.43204	-0.72496	0.72496
	0.0009	0.0009	0.2851	0.2851	0.0419	0.0419
	8	8	8	8	8	8
EklusL	0.04779	-0.04779	0.80689	-0.80689	0.38444	-0.38444
	0.9105	0.9105	0.0155	0.0155	0.3470	0.3470
	8	8	8	8	8	8
EklusP	-0.04779	0.04779	-0.80689	0.80689	-0.38444	0.38444
	0.9105	0.9105	0.0155	0.0155	0.3470	0.3470
	8	8	8	8	8	8
EcvalL	-0.21162	0.21162	-0.26194	0.26194	-0.42140	0.42140
	0.6149	0.6149	0.5309	0.5309	0.2984	0.2984
	8	8	8	8	8	8
EcvalP	0.21162	-0.21162	0.26194	-0.26194	0.42140	-0.42140
	0.6149	0.6149	0.5309	0.5309	0.2984	0.2984
	8	8	8	8	8	8