

UNIVERZITA KARLOVA  
Fakulta tělesné výchovy a sportu

# DISERTAČNÍ PRÁCE

Mgr. Maroš Kařata  
2023

UNIVERZITA KARLOVA  
Fakulta tělesné výchovy a sportu

**Objektivizace, komparace a míra asociace maladaptivních indikátorů  
u sportovců**

**Obor: Kinantropologie**

**Pracoviště:**

**UK FTVS, Laboratoř sportovní motoriky**

**Autor:** Mgr. Maroš Kařata

**Vedoucí disertační práce:** doc. PaedDr. Tomáš Malý, Ph.D.

**Konzultant disertační práce:** prof. Ing. František Zahálka, Ph.D.

Praha 2023

Prohlašuji, že jsem disertační práci vypracoval samostatně pod vedením doc. PaedDr. Tomáše Malého, Ph.D., a že jsem uvedl všechny použité zdroje literatury.

V Praze dne .....

.....

Mgr. Maroš Kařata

## Evidenční list

Souhlasím se zapůjčením této disertační práce ke studijním účelům. Uživatel svým podpisem stvrzuje, že práci použil ke studiu a prohlašuje, že bude uvedena mezi použitou literaturou.

Jméno a příjmení:

Fakulta / katedra:

Datum vypůjčení:

Podpis:

---

## **Poděkování**

Předložená disertační práce by nevznikla za podpory zaměstnanců Laboratoře sportovní motoriky na FTVS UK v Praze.

Hlavní poděkování patří mému vedoucímu práce doc. PaedDr. Tomáši Malému, Ph.D., který mě mentoroval ve vědecké činnosti od magisterského studia a dokázal mi rozšířit obzor z hlediska sportovní vědy a její využití v praxi.

Poděkování také patří prof. Ing. Františku Zahálkovi, Ph.D., za odborné vedení a cenné rady po celou dobu mého postgraduálního studia.

Dále bych rád poděkoval kolegům z Laboratoře sportovní motoriky (FTVS UK), zejména PhDr. Mikulášovi Hankovi, Ph.D., PhDr. Davidovi Bujnovskému, Ph.D. a Mgr. Matejovi Varjanovi za všechny konstruktivní připomínky při tvorbě práce, ale také za podporu při celé době studia.

Velké poděkování patří také mé partnerce Kristýně a dceři Ruth, rodičům a sourozencům za trpělivost a podporu při celé době studia.

## Abstrakt

### Objektivizace, komparace a míra asociace maladaptivních indikátorů u sportovců

**Cíle:** Cílem práce bylo zjistit velikost a směr maladaptivních indikátorů v podobě bilaterálních a unilaterálních asymetrií u mladých sportovců a následně komparovat zjištěné asymetrie v reflexi druhů sportu, věku, výkonnostní úrovně a pohlaví. Sekundárním cílem bylo zjistit míru závislosti mezi asymetrií z hlediska druhu asymetrie (morfologická, asymetrie zjištěné pomocí diagnostiky vybraných parametrů u rovnováhových, silových a základních lokomočních činnostech).

**Metody:** Analyzovanou skupinu tvořili mladí sportovci a sportovkyně ve věku od 10 do 19 let různé sportovní specializace. Skupiny byly rozřazeny na základě rozlišovacích kritérií: převládající charakter pohybového zatížení (druh sportu): symetrické (SY), asymetrické (ASY), hybridní (HY), chronologický věk: 10–12 let, 13–15 let, 16–18 let, výkonnostní úroveň: elitní vs. sub-elitní a pohlaví. Mezi sledované parametry byly zařazeny: distribuce rozložení svalové hmoty na dolních končetinách (MA), bilaterální rozdíly ve velikosti celkové dráhy středu tlakového působení (APS), maximální síla při odrazové (IPF) a dopadové (IPF) fázi běhu a silový impuls (FI) při začáteční (<sup>Z</sup>) a konečné (<sup>K</sup>) rychlosti běhu, bilaterální asymetrie u extenzorů (Q:Q) a flexorů (H:H) kolene a H:Q poměr (unilaterální asymetrie) ve třech úhlových rychlostech pohybu (nízká = 60°/s, střední = 180°/s, vysoká = 300°/s), bilaterální rozdíly u parametru maximální síly (BFD) při vertikálním výskoku s protipohybem paží (CMJ) a z podřepu (SJ).

**Výsledky:** Průměrné hodnoty bilaterálních asymetrií napříč všemi sledovanými parametry vyjádřené v relativních hodnotách (%) byly v souladu s arbitrárními prahy v rozmezí < 15 % s výjimkou APS. Celkem 38,0–91,4 % sportovců bylo identifikováno s nevýznamnou asymetrií (< 10 %), 6,6–18,7 % sportovců se zvýšenou asymetrií (10–15 %) a významnou asymetrií (> 15 %) vykazovalo 2,0–43,9 % sportovců v závislosti na testu. Směrovost bilaterální asymetrie vykazovala mírnou tendenci směru v prospěch dominantní dolní končetiny, ačkoli to neplatilo pro všechny testy zejména u extenzorů kolena (vyšší počet hráčů vykazovalo směr v prospěch nedominantní dolní končetiny ve všech úhlových rychlostech). Signifikantně nižších hodnot u parametru H:H<sup>180</sup> dosáhli sportovci skupiny ASY v porovnání se skupinou SY a HY ( $F = 13,62$ ;  $p < 0,05$ ,  $\eta_p^2 = 0,04$ ). Naopak signifikantně vyšších hodnot dosáhli sportovci skupiny ASY v porovnání se skupinou SY u parametru BFD<sup>SJ</sup> ( $F = 3,59$ ;  $p < 0,05$ ,  $\eta_p^2 = 0,01$ ). Signifikantně vyšších

hodnot H:Q poměru u všech úhlových rychlostech pohybu zaznamenali sportovci HY v porovnání se skupinou ASY a SY ( $F = 3,82-16,04$ ,  $p < 0,05$ ,  $\eta_p^2 = 0,01-0,04$ ). Signifikantně nižší hodnoty u parametru  $Q:Q^{180}$ ,  $Q:Q^{300}$ ,  $APF^Z$ ,  $APF^K$  zaznamenali sportovci nejstarší věkové kategorie v porovnání s kategorií 10–12 let ( $F = 5,72-9,33$ ,  $p < 0,05$ ,  $\eta_p^2 = 0,02-0,03$ ). Signifikantně vyšší hodnoty H:Q poměru ve všech úhlových rychlostech pohybu pro obě končetiny dosáhla skupina mužů v porovnání s ženskou skupinou ( $t = 4,90-7,69$ ,  $p < 0,05$ ,  $d = 0,42-0,68$ ). Míra asociace mezi asymetriemi z hlediska druhu (morfologická vs. silová) byla triviální pro všechny parametry ( $r < 0,1$ ).

**Závěry:** Analýza prokázala statisticky významné rozdíly ve velikosti bilaterálních a unilaterálních asymetrií mezi vybranými skupinami sportovců ačkoli s malou až střední velikostí efektu. Hodnocení asymetrií z hlediska velikosti a směru by mělo být prováděné na individuální úrovni z důvodu vysokého počtu hráčů, kteří byli identifikováni se zvýšenou (10–15 %) či významnou bilaterální asymetrií (> 15 %). Nekonzistentnost směru bilaterální asymetrie vzhledem k testu má zásadní vliv na návrh pohybové intervence v kontextu snižování bilaterálních asymetrií a eliminace rizika zranění. Trenéři vybraných druhů sportu (SY a ASY) zejména u skupiny žen by se měli zaměřit na snižování unilaterální asymetrie pomocí rozvoje svalové síly flexorů kolena. Prezentované hodnoty by mohly sloužit jako orientační hodnoty pro nezraněné hráče v rámci sledovaných skupin.

**Klíčové slova:** bilaterální asymetrie, unilaterální asymetrie, sportovní specializace, věkové kategorie, výkonnostní úroveň, intersexuální rozdíly

## **Abstract**

### **Objectification, comparison, and degree of association of maladaptive indicators in athletes**

**Aim:** The aim of this study was to identify bilateral and unilateral asymmetries in different components of neuromuscular testing among young athletes, and compare these asymmetries with respect to sport type, age group, performance level, and gender. The secondary aim was to assess the degree of association between types of asymmetry (morphological, balance, strength, and running asymmetry).

**Methods:** The sample population consisted of young male and female athletes aged 10 to 19 with various sports specializations. The participants were grouped by various factors: predominant characteristic of the sport (symmetrical (SY), asymmetrical (ASY), hybrid (HY)); chronological age (10–12 years, 13–15 years, 16–18 years); performance level (elite, sub-elite), and gender. Asymmetry was assessed from morphology and various neuromuscular assessments: distribution of muscle mass on the lower limbs (MA), bilateral differences in the size of the center of pressure path length (APS), maximum active (APF) and impact peak force (IPF) and force impulse (FI) at initial (Z) and final (K) running speed, bilateral asymmetry of knee extensors (Q:Q) and flexors (H:H), and H:Q ratio (unilateral asymmetry) at three angular velocities (low = 60°/s, medium = 180°/s, high = 300°/s), bilateral force deficits (BFD) during countermovement jump (CMJ) and squat jump (SJ).

**Results:** The average values of bilateral asymmetry across selected parameters expressed in relative values (%) were in accordance with arbitrary thresholds (< 15 %), with the exception of APS. Asymmetries of less than 10 % were identified in 38.0–91.4 % of athletes, 6.6–18.7 % achieved increased asymmetry (10–15 %), and 2.0–43.9 % of athletes achieved significant asymmetry (>15 %), depending on the test. The direction of bilateral asymmetry showed a slight tendency toward the dominant lower limb, although this was not seen in every assessment, particularly for the Q:Q at all angular velocities. Significantly lower H:H<sup>180</sup> values were found in the ASY group compared to the SY and HY groups ( $F = 13.62$ ;  $p < 0.05$ ,  $\eta p^2 = 0.04$ ). Conversely, ASY group achieved significantly higher values compared to the SY group in BFD<sup>SJ</sup> ( $F = 3.59$ ;  $p < 0.05$ ,  $\eta p^2 = 0.01$ ). Significantly higher values of the H:Q ratio at all angular velocities in HY group



were found compared to the ASY and SY groups ( $F = 3.82-16.04$ ,  $p < 0.05$ ,  $\eta^2 = 0.01-0.04$ ). Significantly lower values in category 16-18 years in  $Q:Q^{180}$ ,  $Q:Q^{300}$ ,  $APF^Z$ ,  $APF^K$  compared to the category 10-12 years were found ( $F = 5.72-9.33$ ,  $p < 0.05$ ,  $\eta^2 = 0.02-0.03$ ). Significantly higher values of the H:Q ratio at all angular velocities for both limbs in the male group compared to the female group were observed ( $t = 4.90-7.69$ ,  $p < 0.05$ ,  $d = 0.42-0.68$ ). The degree of association between types of asymmetry (morphological vs. strength) was trivial for all parameters ( $r < 0.1$ ).

**Conclusions:** The analysis revealed statistically significant differences in the magnitude of bilateral and unilateral asymmetries among the selected groups of athletes, albeit with small to medium effect sizes. Assessment of asymmetries in terms of magnitude and direction should be performed at an individual level due to the high number of players identified with increased (10-15 %) or significant bilateral asymmetry (> 15 %). The inconsistency in the direction of bilateral asymmetry has a significant impact on designing movement interventions aimed at reducing bilateral asymmetries. Strength and conditioning coaches of specific sports (SY and ASY) especially in women's groups should focus on reducing unilateral asymmetry by developing the strength of knee flexors. The presented values could serve as reference values for uninjured players within the observed groups.

**Keywords:** bilateral asymmetry, unilateral asymmetry, sports specialization, age categories, performance level, intersex differences.

# OBSAH

1	ÚVOD.....	13
2	TEORETICKÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY .....	16
2.1	Determinace sportu v reflexi výkonnostní úrovně.....	16
2.2	Struktura sportovního výkonu.....	18
2.2.1	Klasifikace sportovních výkonů .....	20
2.3	Sportovní specializace.....	24
2.3.1	Raná sportovní specializace.....	25
2.3.2	Trénink odpovídající vývoji.....	26
2.3.3	Shrnutí kapitoly.....	28
2.4	Dlouhodobá koncepce sportovního tréninku .....	29
2.4.1	Věkové zákonitosti v jednotlivých obdobích ontogeneze .....	31
2.4.2	Intersexuální rozdíly v průběhu ontogeneze .....	34
2.5	Maladaptace ve sportu.....	35
2.5.1	Definice pojmu asymetrie v reflexi sportu .....	37
2.5.2	Druhy asymetrie.....	41
2.5.3	Asymetrie ve sportu .....	47
2.5.4	Asymetrie jako rizikový faktor zranění .....	52
2.6	Vymezení vědeckého problému .....	53
3	CÍLE, HYPOTÉZY A ÚKOLY PRÁCE .....	55
3.1	Cíle práce .....	55
3.2	Hypotézy práce.....	55
3.3	Úkoly práce .....	55
4	METODIKA PRÁCE .....	57
4.1	Charakteristika výzkumného souboru.....	57
4.2	Organizace výzkumu.....	59
4.3	Metody získávání výzkumných údajů.....	59
4.3.1	Objektivizace velikosti a směru asymetrie .....	59

4.3.2	Hodnocení antropometrických parametrů tělesná výška a hmotnost .....	61
4.3.3	Hodnocení morfologické asymetrie pomocí testu tělesného složení .....	62
4.3.4	Hodnocení asymetrie pomocí testu posturální stability .....	63
4.3.5	Hodnocení asymetrie při analýze inverzní dynamiky běhu .....	64
4.3.6	Izokinetická svalová síla extenzorů a flexorů kolena .....	66
4.3.7	Testy inverzní dynamiky dolních končetin při hodnocení vertikálního výskoku	67
4.4	Metody zpracování výzkumných údajů .....	69
5	VÝSLEDKY .....	72
5.1	Základní antropometrické ukazatele v rámci vybraných skupin .....	72
5.2	Objektivizace velikosti a směru bilaterální asymetrie u vybraných parametrů	74
5.3	Komparace bilaterálních asymetrií vzhledem k nezávislým proměnným .....	80
5.3.1	Komparace bilaterálních asymetrií v reflexi druhu sportu .....	80
5.3.2	Komparace bilaterálních asymetrií v reflexi věkové kategorie .....	83
5.3.3	Komparace bilaterální asymetrie vzhledem k výkonnostní úrovni .....	86
5.3.4	Komparace bilaterálních asymetrií vzhledem k pohlaví .....	88
5.3.5	Lineární regrese vysvětlující vliv nezávislých proměnných na hodnoty bilaterálních asymetrií ve vybraném testu .....	89
5.4	Objektivizace velikosti unilaterální asymetrie pomocí H:Q poměru .....	91
5.5	Komparace unilaterální asymetrie vzhledem k nezávislým proměnným .....	92
5.5.1	Komparace unilaterální asymetrie vzhledem k druhu sportu .....	92
5.5.2	Komparace unilaterální asymetrie vzhledem k věkové kategorii .....	92
5.5.3	Komparace unilaterální asymetrie vzhledem k výkonnostní úrovni .....	93
5.5.4	Komparace unilaterální asymetrie vzhledem k pohlaví .....	94
5.5.5	Lineární regrese vysvětlující vliv nezávislých proměnných na hodnoty unilaterálních asymetrií ve vybraném testu .....	94
5.6	Korelace mezi vybranými parametry unilaterální a bilaterální asymetrie .....	96
6	DISKUZE .....	98

6.1	Objektivizace a identifikace bilaterálních a unilaterálních asymetrií .....	98
6.2	Komparace asymetrie vzhledem k nezávislým faktorům .....	104
6.2.1	Bilaterální a unilaterální asymetrie v reflexi druhu sportu .....	104
6.2.2	Bilaterální a unilaterální asymetrie v reflexi rozdílné věkové kategorie	107
6.2.3	Bilaterální a unilaterální asymetrie v reflexi výkonnostní úrovně.....	110
6.2.4	Bilaterální a unilaterální asymetrie v reflexi pohlaví.....	112
6.3	Limity výzkumu .....	113
7	ZÁVĚRY PRÁCE .....	115
8	REFERENCE .....	119
9	SEZNAM TABULEK, OBRÁZKU, GRAFŮ A ZKRATEK.....	145
9.1	Seznam tabulek .....	145
9.2	Seznam obrázků .....	146
9.3	Seznam grafů.....	146
9.4	Seznam zkratk .....	147
10	PŘÍLOHY .....	149

# 1 ÚVOD

*„Nepřežije nejsilnější či nejinteligentnější druh,  
ale druh, který se nejlépe přizpůsobí změně.“*

*Charles Darwin*

Dlouhodobě zvýšená intenzita sportovního tréninku a nároky na sportovní specializaci během dospívání společně s nedostatečným odpočinkem mohou zvýšit riziko přetížení a zranění sportovce (Post et al., 2017). Pro optimální dlouhodobý rozvoj sportovce je proto nezbytné brát v úvahu individuální potřeby jednotlivců, aby trénink odpovídal jejich schopnostem a dosažené motorické úrovni (Lloyd et al., 2015). Mezi faktory, které ovlivňují proces tréninku patří specifika v závislosti na pohlaví, věku, stupni maturace a tréninkové zkušenosti (Kliethermes et al., 2020). V současnosti se odlišují dvě různé cesty k dosažení úspěchu ve sportu v dospělosti: raná sportovní specializace a trénink odpovídající vývoji (Ferguson & Stern, 2014). Některé sporty si vyžadují včasnou specializaci z toho důvodu, že elitní výkonnosti je možné dosáhnout už před dospělostí (krasobruslení, sportovní gymnastika). Naopak při dalších sportech (např. kolektivní sporty) je doporučována participace ve více sportech až do ukončení období puberty (14–15 let) (Ford et al., 2017).

Jedním z negativních aspektů spojených s dlouholetou sportovní aktivitou je výskyt tzv. maladaptivních efektů, a to zejména u mladých sportovců během jejich ontogenetického vývoje. Maladaptaci definujeme jako reakci na zátěž, která neodpovídá uznaným kritériím fyziologických adaptací (Kučera et al., 2011). Mezi tyto efekty můžeme zařadit také výskyt zvýšených druhů asymetrií, které mohou vznikat v důsledku opakované unilaterální zátěže u sportů, které svým pohybovým charakterem vyžadují převážně asymetrické pohybové vzory při realizaci sportovně specifických pohybů (Vasenina et al., 2023). Tyto asymetrie mohou vznikat na několika úrovních – jedná se o morfologii charakteristickou anatomickou adaptací, resp. asymetrickým poměrem jednotlivých struktur tělesného složení (Malá et al., 2020), dále o silovou asymetrii (Kalata et al., 2020) nebo asymetrii detekovanou pomocí biomechanických postupů objektivizace pohybu při provádění komplexnějších pohybových vzorců, jako je vertikální výskok (Bishop et al., 2021) či běh (Furlong & Egginton, 2018). Určitý typ asymetrie se považuje za přirozený (normální) pro člověka a je důležitý pro jeho další rozvoj. Mezi takové asymetrie zařazujeme směrovou asymetrii (např. poloha a rozložení

orgánu se neustále vyvíjí do dané strany) a antisymetrii, která představuje tendenci vyvíjet se směrem k určité straně, ale strana, na níž k tomu dojde, je ukazatelem směru dominance (Van Valen, 1962). Typickým příkladem je lateralita (praváctví, leváctví). Třetí typ asymetrie označovaný jako tzv. kolísavá asymetrie (z angl. fluctuating asymmetry, FA) je výsledkem reakce organismu na stres prostředí (Longman et al., 2011). Autoři uvádí spojitost mezi zvýšeným rizikem zranění a hranicí bilaterální asymetrie přesahující 10 % (Liporaci et al., 2019) či 15 % (Dauty et al., 2016).

Neucelenou problematikou výzkumu zůstává komplexní objektivizace, komparace a míra asociace maladaptivních efektů napříč řadou sportovních disciplín, výkonnosti, ontogenetickým vývojem nebo pohlavím s vyšším počtem analyzovaných subjektů. Výzkum se této problematice věnoval spíše na individuální sportovní úrovni s menším počtem subjektů (např. v rámci jednoho týmu). Komplexní evaluace možného dopadu zmíněných faktorů na vývoj maladaptivních indikátorů je dosud podle našich aktuálních vědomostí nedostatečně prozkoumána. Odlišnosti při komparaci a závěry jednotlivých studií zatěžuje rozdílná metodika pro evaluaci společných parametrů. Z důvodu velkého počtu sportů a efektivnější analýzy vzniká snaha o seskupování do různých kategorií na základě kritérií, která by mohla reflektovat společné důsledky fyzické aktivity na organismus sportovce. Mezi nejčastější rozřazovací kritéria patří fyziologické charakteristiky (Chamari & Padulo, 2015), počet zúčastněných osob a způsob jejich vzájemné interakce (Baker et al., 2003) nebo využití specifických nástrojů pro sportovní výkon (Arnold & Fletcher, 2012). S ohledem na zaměření naší práce je tahle klasifikace nedostatečná, protože nezohledňuje specifické biomechanické vzorce, které plynou z pohybových úkolů jednotlivých druhů sportu. Maloney (2019) doporučuje klasifikovat sporty na základě výskytu motorických úkolů a využití jednostrannosti a oboustrannosti párových končetin při provádění sportovně specifických pohybů. Pro naši práci jsme vycházeli z doporučení Maloney (2019), později upravené dle Kalata et al. (2020), který rozlišuje tři základní druhy sportu na základě převládajícího pohybového charakteru: symetrického, asymetrického a hybridního (tzv. smíšené pohyby). Otázkou zůstává, jak velký vliv má charakter pohybového zatížení v rámci vybraného sportu na míru maladaptivních efektů v podobě detekovaných asymetrií? Je možné, že dlouhodobá a nekompensovaná participace v konkrétním sportu vede ke vzniku vyššího stupně asymetrie než jiné? Kromě toho je podstatné zkoumat, jaké další faktory mohou významně ovlivnit stupeň asymetrie a s ní související rizika. Napříč spektrem vědeckých

prací byla asymetrie zjišťovaná prostřednictvím různých motorických úkolů či metod (morfologie, testy rovnováhy, síly či základních lokomočních pohybů) a pro její výpočet byly zvolené různé vzorce (Bishop et al., 2020). Z toho důvodu je obtížné komparovat studie a míru asymetrií v závislosti na participaci ve vybraném sportu, věku, výkonnostní úrovni či pohlaví sportovce.

Naše práce si klade za cíl objektivizovat (velikost a směr) maladaptivní indikátory v podobě asymetrií u mladých sportovců (10 až 19 let) různého druhu sportu, věku, výkonnostní úrovni a pohlaví. Zjištěné informace mají obohatit poznatky o vztahu mezi dlouhodobou sportovní aktivitou různého druhu a mírou efektu maladaptace. Data mají být nápomocná pro vědecké a klinické pracovníky v mládežnickém sportu při interpretaci a hodnocení asymetrií a mají zdůraznit nutnou a včasnou tvorbu kompenzačních programů pro specifickou skupinu mladých sportovců.

## 2 TEORETICKÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

### 2.1 Determinace sportu v reflexi výkonnostní úrovně

Sport je široký pojem a panuje nejednotnost v jeho interpretaci, tedy co sport vlastně znamená, protože na něj můžeme nahlížet z hlediska více oborů (sociologie, filozofie, právo, medicína, kinantropologie), což podtrhuje jeho interdisciplinární povahu (Gardiner et al., 2012). Evropská charta definuje sport jako „*všechny formy tělesné činnosti, které at' již prostřednictvím organizované účasti či nikoli si kladou za cíl projevení či zdokonalení tělesné i psychické kondice, rozvoj společenských vztahů nebo dosažení výsledků v soutěžích na všech úrovních*“. Sport je nedílnou součástí společnosti také v České republice, což dokazuje i počet registrovaných členů, který činí kolem 1 335 tisíc, z toho asi polovinu (kolem 661 tisíc) tvoří mládež do 18 let (Český statistický úřad, data k roku 2019).

Fyzická výkonnost sportovců je zkoumána mnoha odborníky, včetně vědců zabývajících se sportem a pohybovou aktivitou, kteří se zajímají o limitní faktory lidského výkonu, vliv tréninku a genetiky na sportovní výkon, účinky různých strategií nebo intervencí a potenciální přínos, který by mohl být aplikovaný pro specifickou populaci sportovců (McKay et al., 2021). Princip specifity výzkumu stanovuje, že generalizace a aplikace výsledků jsou možné pouze na konkrétní populaci sportovců, kteří mají podobné charakteristiky jako účastníci dané studie. Tahle skutečnost vyžaduje objektivní charakteristiky pro definici cílených jedinců či skupin. McKay et al. (2021) uvádí 6 výkonnostních skupin sportovců, které se liší na základě tréninkových a výkonnostních metrik (viz tabulka č. 1). Jako příklad uvádíme výzkum zabývající se cílenou periodizací dostupnosti sacharidů pro zvyšování fyzického výkonu. Na jedné straně byl prokázán pozitivní dopad u dospělých trénovaných cyklistů (Marquet et al., 2016), ačkoli tyto výhody nebyly pozorovány u skupiny elitních sportovců (cyklisti a triatlonisti) (Gejl et al., 2017). Proto je nezbytné vymezení sportovní populace při generalizaci a aplikaci výsledků studie.



Tabulka č. 1: Klasifikace sportu na základě výkonnostní úrovně.

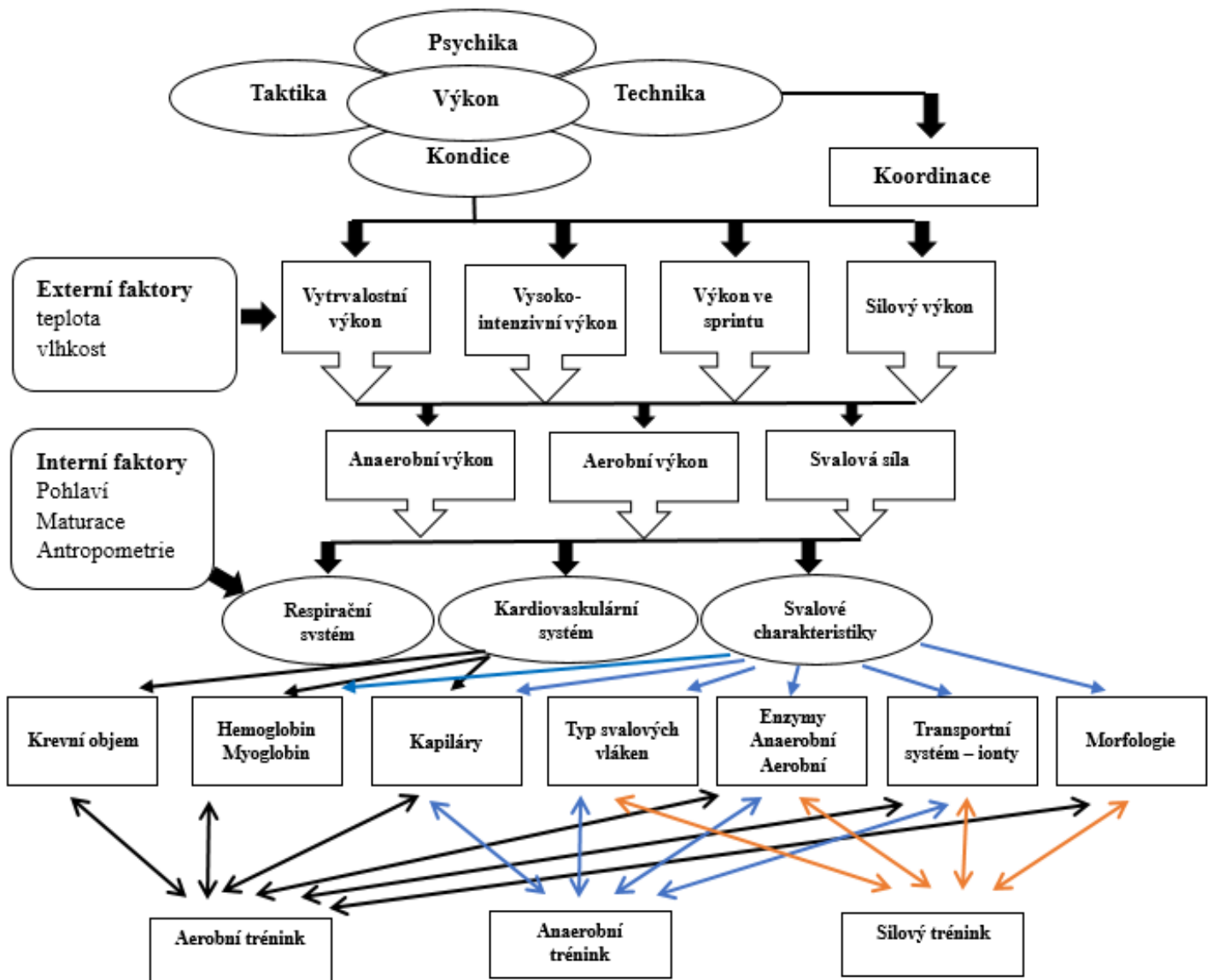
Úroveň	Procento světové populace	Charakteristika
Světová třída	<0,00006 %	Olympijští nebo světoví medailisté, držitelé světových rekordů a sportovci dosahující výkonnosti do 2 % světových rekordů nebo světově nejlepších výkonů. Maximální nebo téměř maximální tréninková zátěž v souladu s normami sportu. Výjimečná úroveň dovedností.
Elitní/Mezinárodní úroveň	~0,0025 %	Mezinárodní úroveň soutěže (jednotlivci nebo týmoví sportovci v národním týmu, sportovci týmových sportů v mezinárodních ligách/turnajích). Dosahování výkonnosti do ~7 % světových rekordů nebo světově nejlepších výkonů. Maximální nebo téměř maximální tréninková zátěž s cílem soutěžit na nejvyšší úrovni. Vysoká úroveň dovedností.
Vysoce trénovaní/Národní úroveň	~0,014 %	Národní úroveň soutěže. Sportovci týmových sportů v národních/státních ligách/turnajích. Dosahování výkonnosti do ~20 % světových rekordů nebo světově nejlepších výkonů. Strukturovaný a periodizovaný trénink směrem k dosažení maximální nebo téměř maximální úrovně v daném sportu. Rozvoj dovedností.
Trénovaní/Výkonnostní úroveň	~12–19 %	Lokální úroveň soutěže. Pravidelný trénink přibližně 3krát týdně. Identifikace s konkrétním sportem. Trénink s cílem soutěžit. Omezený rozvoj dovedností.
Rekreačně aktivní	~35–42 %	Splnění minimálních doporučení Světové zdravotnické organizace pro fyzickou aktivitu. Účast v různých sportech/aktivitách.
Sedavý	~46 %	Nedosahují minimálních doporučení pro fyzickou aktivitu. Příležitostná a/nebo okrajová fyzická aktivita.

Zdroj: Modifikováno dle McKay et al. (2021)

U mládeže (zejména u nejmladších kategorií) nelze častokrát stanovit výkonnostní charakteristiky, a proto je využíváno rozřazení pouze na základě výkonnostního stupně, ve kterém sportovci soutěží (1. liga, 2. liga apod.) (Lorenz et al., 2013). Je nutné si uvědomit, že rozdíly ve výkonu mohou být zřetelné mezi více výkonnostními stupni (např. nejvyšší liga vs. lokální soutěže), ačkoli to nemusí platit, když se jedná o rozdíl pouze jednoho výkonnostního stupně (1. a 2. liga) zejména u mládeže (Kalata et al., 2023).

## 2.2 Struktura sportovního výkonu

Sportovní výkon je aktuální projev specializovaných schopností jedince či týmu v konkrétní sportovní činnosti (Dovalil & Choutka, 2010). Bangsbo et al. (2006) předkládají holistický model sportovního výkonu ve fotbalu, který se skládá z technických, taktických, fyziologických a psychologicko/sociálních charakteristik sportovce (viz obrázek č. 2). Tyto charakteristiky jsou vzájemně propojené a více či méně se navzájem ovlivňují. Tento obecný model je možné generalizovat pro všechna sportovní odvětví, ačkoli nároky na jednotlivé složky výkonu jsou přímo úměrné požadavkům sportovní specializace. Zastoupení jednotlivých složek sportovního výkonu se mohou mezi jednotlivými sporty výrazně lišit. Například u sportu jako běh na 100 m, maraton a veslování jsou výkony silně závislé na fyzické kondici sportovců. Naopak u míčových her mohou technické a taktické dovednosti kompenzovat slabší fyzickou kondici (Bangsbo, 2015). Důležitou roli hrají i genetické faktory, pohlaví, antropometrie, věk a fáze zrání, které ovlivňují respirační, kardiovaskulární, svalové a nervové charakteristiky. Různá prostředí, teplota, vlhkost nebo nadmořská výška mohou také ovlivnit sportovní výkon. Z toho vyplývá, že trénink a specifické přístupy k rozvoji jednotlivých složek jsou klíčové pro dosažení optimálního výkonu ve vybraných sportech (Bangsbo, 2015).



Obrázek č. 1: Holistický model sportovního výkonu

Zdroj: Bangsbo et al. (2006)

### 2.2.1 Klasifikace sportovních výkonů

Sporty se řídí jasným souborem pravidel, která je definují a strukturují na základě toho, čím se odlišují od jiných sportů (Vamplew, 2007). Tato pravidla omezují možnosti chování a vytvářejí jasnou strukturu a omezené situace v daném sportu. Lipoński (2003) uvádí více než 3000 různých sportů, což představuje výzvu pro výzkumníky, kteří studují psychologické souvislosti a důsledky fyzické aktivity. Vzhledem k tomu, že jednotlivé studie nemohou zahrnovat všechny sporty, vytváří se snaha o seskupování sportů do různých kategorií na základě různých kritérií, jako jsou fyziologické charakteristiky (Chamari & Padulo, 2015), počet zúčastněných osob a způsob jejich vzájemné interakce (Baker et al., 2003) nebo využití specifických nástrojů pro sportovní výkon (Arnold & Fletcher, 2012).

Mitchell et al. (2005) klasifikovali sporty také dle typu náročnosti prováděného cvičení s ohledem na typ svalové kontrakce: dynamické (izotonické) a statické (izometrické). Dynamické cvičení zahrnuje změny délky svalů a pohyb kloubů s rytmickými kontrakcemi, které vyvíjejí relativně malou intramuskulární sílu. Statické cvičení zahrnuje vývoj relativně velké intramuskulární síly s malou nebo žádnou změnou délky svalu nebo pohybu kloubů. Tyto dva typy cvičení by měly být považovány za dva protichůdné póly kontinua, přičemž většina pohybových aktivit zahrnuje statické i dynamické komponenty. Například běh má nízké statické a vysoké dynamické nároky, vodní lyžování má převážně vysoké statické a nízké dynamické nároky a veslování má vysoké statické i dynamické nároky.

Poměrně často se využívá klasifikace sportu na základě počtu osob jako individuální a týmové sporty (Baker et al., 2003). Tohle dělení má pro naši práci omezenou použitelnost, protože nezohledňuje další kritéria jako například typ sportovního výkonu nebo fyziologické požadavky sportu. V české literatuře se můžeme setkat s klasifikací sportovních výkonů dle Dovalil et al. (2002), kteří podrobně popisují jednotlivé sportovní výkony a jejich odlišnosti z hlediska složitosti struktury, počtu dovedností a primárních pohybových schopností, které jsou odpovědné za sportovní výkon (viz Tabulka č. 2).

Tabulka č. 2: Klasifikace sportovních výkonů dle Dovalil et al., (2002).

Výkony	Senzomotorické	Rychlostně – silové	Vytrvalostní	Technicko-estetické	Založené na ovládní stroje a nářadí	Individuální úpolové	Kolektivní
Složitost struktury	Jednoduchá	Jednoduchá	Jednoduchá	Složitá	Složitá	Složitá	Složitá
Počet dovedností	Nízký	Nízký	Nízký	Vysoký	Vysoký	Vysoký	Vysoký
Dominantní schopnosti	koordinaci oko-ruka	Rychlé vyvíjení síly	Volné úsilí Vytrvalostní předpoklady	Vnímání prostoru, rovnovážné schopnosti	Rychlost rozhodování	Rychlost rozhodování, anticipace, silové schopnosti	Rychlost rozhodování, Anticipace,
Sportovní specializace	Střelba Golf Lukostřelba	Vrhy Hody Skoky	Běhy Plavání Cyklistika	Krasobruslení Gymnastika Skoky do vody	Jachting Boby Curling	Úpolové sporty	Fotbal Hokej Florbal

Zdroj: Dovalil et al. (2002)

McKay et al. (2021) seskupili sporty do 7 kategorií na základě fyziologických požadavků, taktických složek a dovednostních požadavků daného sportu (viz tabulka č. 3). Podle Stefaniho taxonomie hodnotících systémů (Stefani, 1999) se týmové sporty dají popsat jako „sporty s objektem“, kde hlavním cílem je manipulace s objektem při přímém střetnutí s jiným soutěžícím. Naopak další sporty jsou dle toho pravidla kategorizované jako nezávislé a v případě kategorie sportu vyžadujícího přesnost provedení řadíme obě varianty. U bojových sportů naopak neuvádíme ani jednu z variant (McKay et al., 2021).

Tabulka č. 3: Klasifikace sportovních výkonů dle McKay et al. (2021).

Sportovní kategorie	Stefaniho taxonomie	Zastoupení jednotlivých sportů
Týmové sporty	Objektivní	Australský fotbal, americký fotbal, baseball, basketbal, kriket, pozemní hokej, fotbal, házená, lední hokej, netball, ragby, goalball, volejbal a vodní pólo
Vytrvalostní sporty/dlouhé tratě	Nezávisle	Atletika (tratě nad 5000 m), biatlon, běh na lyžích, silniční cyklistika, plavání (800 m a více), plavání v otevřené vodě, triatlon, chůze na trati, maraton a ultramaratony
Střední vzdálenost/síla	Nezávisle	Kanoistika, kajak, BMX závody, horská cyklistika, veslování, plavání (pod 400 m), atletika na dráze (800–1500 m) a dráhová cyklistika
Rychlost/síla	Nezávisle	Alpské lyžování, bobová dráha, atletika na dráze, jízda na saních, skoky na lyžích, rychlobruslení, sprinty na dráze a vzpírání
Sporty vyžadující přesnost a dovednosti	Nezávisle /objektivní	Lukostřelba, umělecké plavání, curling, skoky do vody, jezdeckví, krasobruslení, lyžování, golf, gymnastika, jachting, střelba, snowboarding, surfing, skateboard, freestyle, trampolíny
Raketové sporty	Objektivní	Badminton, stolní tenis, squash a tenis
Bojové sporty		Box, šerm, judo, karate, taekwondo a zápas

Zdroj: Modifikováno dle McKay et al. (2021)

Z výše zmíněného lze usoudit, že klasifikace sportu závisí na rozlišovacích kritériích a postrádá jednotné rozdělení napříč spektrem vědeckých prací. Kategorizace sportu z pohledu asymetrie by měla poskytovat informace o specifických pohybových nárocích a rizicích pro sportovce, ať už z hlediska asymetrických zátěží nebo predispozic k poranění (Maloney, 2019). Je důležité si uvědomit, že asymetrie je přirozenou součástí lidského těla a může se vyskytovat u každého jedince. V rámci sportu je však důležité sledovat asymetrické projevy tak, aby nedocházelo k negativním dopadům na výkonnost či zdraví sportovců. Sportovní výkony vyžadují opakované provádění specifických biomechanických vzorců, které plynou z pohybových činností daného sportu. Pro hodnocení zapojení končetin při plnění sportovních specifických motorických úkolů je nutné provést analýzu pro jednotlivé sporty, abychom získali informace o podobnosti biomechanických požadavků. V tomto směru doporučuje Maloney (2019) klasifikovat sporty na základě výskytu motorických úkolů podle Guiard (1987), kteří rozdělují motorické úkoly na základě využití jednostrannosti a oboustrannosti párových končetin

při provádění sportovně specifických pohybů do čtyř skupin: Skupina 1: unilaterální (např. skok do dálky), Skupina 2: bilaterální asymetrické (např. golfový švih), Skupina 3: bilaterálně symetrický při cyklické činnosti (např. cyklistika), Skupina 4: bilaterálně symetrický při acyklické činnosti (např. vzpírání). Je však třeba podotknout, že sporty jako fotbal by mohly být klasifikovány jako sporty s dominancí skupiny 2 s ohledem na přítomnost úkolů, jako jsou kopání a změna směru, ačkoliv nesmíme opomenout přítomnost skupiny 3 při činnostech, jako jsou běh nebo chůze.

Pro naši práci jsme v metodologické části vycházeli z klasifikace sportovních výkonů dle doporučení Maloney et al. (2019) a později upravené dle Kalata et al. (2020), který rozlišuje tři základní druhy sportu na základě převládajícího pohybového charakteru:

1. Sporty s převládajícím symetrickým charakterem pohybového zatížení (SY) – řadíme sem sporty, při kterých převažují pohybové úkoly převážně cyklického charakteru (plavání, běhy, triatlon, cyklistika) nebo sporty s pohybovými úkoly bilaterálního charakteru, tedy bez výrazné dominance jedné strany při provádění sportovně specifických pohybů (sportovní aerobik, vzpírání). Dle rozdělení Guiard (1987) sem spadají kategorie 3 a 4.
2. Sporty s převládajícím asymetrickým charakterem pohybového zatížení (ASY) – tyto sporty zahrnují disciplíny, ve kterých je zřejmé, že při provádění sportovně specifického pohybu bude preferována končetina nebo směr pohybu (např. golf, šerm, volejbal) nebo sporty s acyklickým charakterem pohybu (hod oštěpem, skok do dálky atd.). Podle rozdělení Guiard (1987) lze nalézt podobnost s kategoriemi 1 a 2.
3. Sporty, u nichž se vyskytuje smíšený pohybový charakter tzv. hybridní (HY) – do této skupiny řadíme sporty, které při provádění sportovně specifických úkolů využívají jak symetrické pohyby (např. běh), tak asymetrické pohybové vzory jako například kop ve fotbale. Tato skupina se proto skládá z tzv. kombinovaných pohybů a zahrnuje převážně kolektivní sporty jako fotbal, florbal, házená apod.

## 2.3 Sportovní specializace

Sportovní specializace je obecně chápána jako pravidelný, intenzivní a celoroční trénink zaměřený převážně na jeden sport s vyloučením ostatních sportů (Brenner, 2016; Jayanthi et al., 2013). V roce 2013 byla vytvořena Jayanthiho stupnice, která slouží k měření úrovně sportovní specializace u mladých sportovců. Tato stupnice se zakládá na třech otázkách: 1. Můžete si vybrat jeden hlavní sport, kterému se věnujete? 2. Ukončili jste účast v jiných sportech, abyste se mohli plně věnovat svému hlavnímu sportu? 3. Trénujete více než 8 měsíců v kalendářním roce ve svém hlavním sportu? (Jayanthi et al., 2013). Pokud je odpověď na všechny tři otázky ano, hodnotíme sportovce jako vysoko specializované. Pokud jsou dvě odpovědi kladné, indikuje to střední specializaci, jedna nebo žádná kladná odpověď značí nízkou úroveň specializace. Je třeba podotknout, že tato kategorizace má své limity, neboť například nezohledňuje intenzitu a objem tréninku.

Mezi nejpopulárnější sporty v České republice patří fotbal s přibližně 337 tisíci členy, z nichž většina jsou muži, a atletika s přibližně 79,3 tisíci členy, z nichž více než polovinu tvoří muži. Na 7. místě se umístil volejbal, jemuž naopak dominují ženy, z celkem 44,5 tisíc členů představují ženy 27,5 tisíce, 17 tisíc je mužů (viz tabulka č. 4).



Tabulka č. 4: Počet registrovaných členů a oddílů u 20 nejpočetnějších sportů v ČR.

Sport	Celkem	Mládež	Muži	Ženy	Počet oddílů
<b>Všechny sporty celkem</b>	<b>1 334 529</b>	<b>661 615</b>	<b>961 038</b>	<b>368 613</b>	<b>19 571</b>
Fotbal	337 154	165 160	319 792	17 362	3 643
Atletika	79 324	49 932	41 216	38 108	356
Florbal	75 737	51 100	61 257	14 480	413
Tenis	69 791	33 210	44 959	24 832	1 245
Bojová umění	60 463	41 564	43 208	17 255	784
Golf	52 262	5 655	36 270	15 992	187
Volejbal	44 450	24 922	16 959	27 491	1 511
Basketbal	42 207	22 112	27 088	15 119	451
Judo	36 769	31 382	28 363	8 406	219
Lední hokej	35 751	23 587	33 904	1 847	722
Hokejbal	33 390	5 857	31 934	1 456	165
Lyžování	30 465	14 153	18 826	11 639	487
Stolní tenis	27 174	6 516	24 281	2 893	1 256
Plavecké sporty	26 165	20 719	13 116	13 049	211
Horolezectví	24 484	8 115	15 984	8 500	402
Šachy	20 404	8 085	18 336	2 068	514
Jezdectví	18 358	5 131	3 023	15 335	1 585
Házená	17 461	10 636	11 010	6 451	179
Gymnastika	16 475	13 974	4 847	11 628	134
Kuželky a bowling	13 934	2 535	10 689	3 245	359

Zdroj: Český statistický úřad (údaje k roku 2019)

Perič & Pecha (2014) uvádí dva hlavní směry k dosažení vrcholové sportovní výkonnosti v rámci dlouhodobé koncepce sportovního tréninku zejména u mládeže: raná sportovní specializace a trénink odpovídající vývoji.

### 2.3.1 Raná sportovní specializace

Raná sportovní specializace nemá jednotně přijatou definici, ale většina autorů se shoduje na několika základních bodech: vysoká intenzita a délka tréninku vzhledem k věku s minimálním časem na odpočinek, vysoce strukturovaný trénink s důrazem na kondiční přípravu, vyloučení účasti v jiných sportech (Ferguson & Stern, 2014). LaPrade et al. (2016) uvádí, že pod pojmem raná specializace se rozumí, když se sportovec účastní organizovaného sportu před 12. rokem života. Koncept rané sportovní specializace na

jediný sport byl poprvé realizován ve východní Evropě (ZSSR) ve sportech, jako jsou gymnastika, plavání či krasobruslení (Louis, 2013). Byly zřízeny rozvojové programy, kde sportovci realizovali intenzivní specializovaný trénink již od útlého dětství pod přísným dohledem trenérů s motivací potenciálních profesionálních smluv. Předpokládalo se, že sportovci, kteří se zaměří na vybraný sport již v útlém dětství, budou mít výhodu v dospělosti oproti sportovcům, kteří se specializovali později. Bez ohledu na fyziologické a psychosociální důsledky je obtížné přesně identifikovat výjimečný talent již v raném věku (Pankhurst & Collins, 2013). Côté et al. (2007) uvádí, že predikce dlouhodobého úspěchu ve sportu na základě výkonnostních predispozic v dětském věku, zejména v prepubertálním nebo pubertálním období, není spolehlivá. Wiersma (2000) se kriticky vyjádřil o selekci talentované mládeže v raném věku z důvodu, že by mohla vyloučit někoho, kdo růstem, zráním a tréninkem by později mohl dosáhnout elitní úrovně. Existuje několik příkladů úspěchů rané sportovní specializace, jedná se o sportovce jako Tiger Woods, sestry Williamsovy či Michael Phelps, kteří začali s tréninkem již v raném dětství (Smith et al., 2015). Úspěchy těchto sportovců, kteří se specializovali v raném dětství, mohou ovlivnit přesvědčení lidí pracujících v oblasti mládežnického sportu, že raná sportovní specializace je jediným způsobem maximalizace sportovního výkonu (Kliethermes et al., 2020). Při rozhodování o výběru konkrétního sportu zejména u mládeže hrají důležitou roli také rodiče, zodpovědní za volnočasové aktivity dítěte. Často mají rodiče intuitivní pocit, že raná specializace dítěte ve vybraném sportu mu může pomoci dosáhnout úspěchu. Law et al. (2007) prokázali, že u rytmické gymnastiky sportovci, kteří začali intenzivní specializovaný trénink již v raném dětství, dosáhli elitního statusu sportovce v porovnání s jejich protějšky, kteří se specializovali později. Také u sportu jako krasobruslení se zdá být raná specializace nezbytná z důvodu, že vrcholového výkonu je možné dosáhnout už před dosažením fyzické zralosti, proto vyžaduje intenzivní trénink již před pubertálním obdobím (Deakin & Copley, 2003).

### **2.3.2 Trénink odpovídající vývoji**

Základním principem vysoce účinných sportovních programů s důrazem na včasnou selekci sportovců by mělo být především poskytnutí prostoru a příležitostí ke hře a tréninku, aby následně mohli být vybráni nejlepší sportovci z velkého množství motivovaných dětí (Baker et al., 2009). O tom pojednává trénink odpovídající vývoji (angl. late specialization), který respektuje specifika ontogenetického vývoje a je

charakteristický vysokým podílem tzv. všestranné přípravy (angl. multiside development) (Perič & Pecha, 2014). Světové organizace jako Fédération Internationale de Médecine du Sport (FIMS), International Olympic Committee (IOC) a National Strength and Conditioning Association (NSCA) zveřejnily svá stanoviska k raným sportovním specializacím a shodují se na jejich odmítnutí a akceptování tréninku odpovídajícího vývoji až do období adolescence (přibližně 15–16 let). Hlavním důvodem je negativní dopad sportovní specializace, který může zahrnovat vyšší výskyt zranění (Post et al., 2017), syndrom vyhoření a ukončení účasti ve sportu (Gould, 2010), narušení růstu a vývoje jedince (Malina, 2010) a také poruchy příjmu potravy u sportů jako krasobruslení nebo tanec (Smolak et al., 2000). Intenzivní trénink v rámci vybrané sportovní specializace může mít za následek zvýšení rizika zranění, zejména pokud celkový týdenní počet hodin přesáhne 16 hodin, což může omezovat množství rekreačního a nestrukturovaného cvičení (Jayanthi et al., 2011; Myer et al., 2015; Lloyd et al., 2015). Studie Jayanthi et al. (2015) prokázala, že mladí sportovci, kteří překročí poměr sportovní přípravy 2 : 1 ve prospěch specializované přípravy, mají větší pravděpodobnost utrpět vážné zranění z nadměrného používání specifických segmentů, které jsou primární pro daný sport. Mladí sportovci, kteří se specializují již v raném věku bez možnosti vyzkoušet jiné sporty, mají menší pravděpodobnost získat základní fyzické, psychosociální a kognitivní dovednosti, důležité pro dlouhodobý úspěch ve sportu (Côté et al., 2009; Jayanthi et al., 2015). Moesch et al. (2011) uvádí, že sportovci, kteří dosáhli elitního statusu, strávili méně času ve specializovaném tréninku ve věku 9 – 15 let ve srovnání s těmi, kteří tohoto statusu v různých sportech nedosáhli.

Koncept dlouhodobého rozvoje sportovce představený Côté et al. (2009) zahrnuje 7 doporučení, která se zabývají různými cestami a zdůrazňují účinnost sportovních programů na rozvoj vrcholové výkonnosti dospělých, dlouhodobou participaci a osobní rozvoj na základě všestranného rozvoje, záměrné hry a klíčové přechody v průběhu vývoje sportovce (Tabulka č. 5). Tento model je považován za opak rané sportovní specializace (Baker et al., 2009). Autoři vycházejí z předpokladu, že trénink odpovídající vývoji a důraz na všestrannost přináší pozitivní přínosy pro dlouhodobý úspěch a zdraví sportovců.

Tabulka č. 5: Doporučení ke sportovní specializaci ve sportu.

Sportovní kategorie	Stefaniho taxonomie	Zastoupení jednotlivých sportů
Týmové sporty	Objektivní	Australský fotbal, americký fotbal, baseball, basketbal, kriket, pozemní hokej, fotbal, házená, lední hokej, netball, ragby, goalball, volejbal a vodní pólo
Vytrvalostní sporty/dlouhé tratě	Nezávisle	Atletika (tratě nad 5000 m), biatlon, běh na lyžích, silniční cyklistika, plavání (800 m a více), plavání v otevřené vodě, triatlon, chůze na trati, maraton a ultramaratony
Střední vzdálenost/síla	Nezávisle	Kanoistika, kajak, BMX závody, horská cyklistika, veslování, plavání (pod 400 m), atletika na dráze (800–1500 m) a dráhová cyklistika
Rychlost/síla	Nezávisle	Alpské lyžování, bobová dráha, atletika na dráze, jízda na saních, skoky na lyžích, rychlobruslení, sprinty na dráze a vzpírání
Sporty vyžadující přesnost a dovednosti	Nezávisle /objektivní	Lukostřelba, umělecké plavání, curling, skoky do vody, jezdeckví, krasobruslení, lyžování, golf, gymnastika, jachting, střelba, snowboarding, surfing, skateboard, freestyle, trampolína
Raketové sporty	Objektivní	Badminton, stolní tenis, squash a tenis
Bojové sporty		Box, šerm, judo, karate, taekwondo a zápas

Zdroj: Côté et al. (2009)

### 2.3.3 Shrnutí kapitoly

Odborná literatura diskutuje dvě cesty k dosažení vrcholové sportovní výkonnosti v dlouhodobé koncepci sportovního tréninku: ranou specializací a trénink odpovídající vývoji. Obě cesty mají své výhody i nevýhody. Raná sportovní specializace může přinést rychlejší nácvik dovedností a dosažení vrcholové výkonnosti (Sluder et al., 2017), ale může také zvýšit riziko zranění a nedostatečného rozvoje jiných dovedností (Post et al., 2017). Na druhé straně trénink odpovídající vývoji je zaměřený spíše na zdravotní aspekt

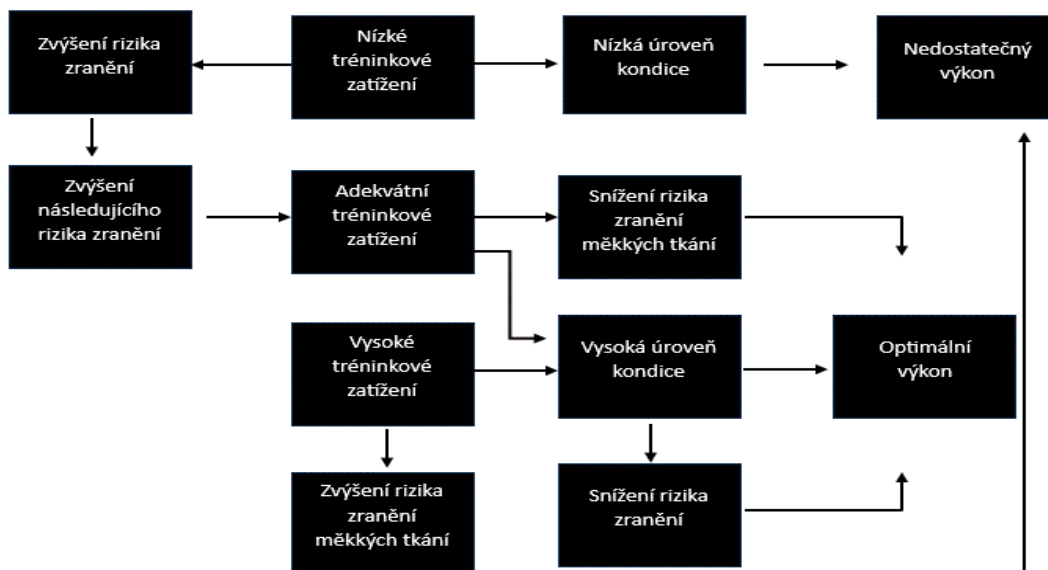
a podporuje vnitřní motivaci dětí k účasti ve sportu, ale může trvat déle dosáhnout vrcholové úrovně (Ferguson & Stern, 2014; Horn, 2015; Jayanthi et al., 2013).

V našem výzkumu nemáme za cíl hodnotit tyto dva směry, nicméně je důležité si uvědomit, že každý z nich může mít přímý dopad na četnost a intenzitu vykonávání sportovně specifických pohybů vzhledem k vybrané sportovní specializaci. Myer et al. (2015) uvádí, že vysoký objem a intenzita sportovně specifických pohybů, které jsou charakteristické pro ranou specializaci, mohou vést k asymetrickému zatěžování kloubů a svalů, což může zvyšovat riziko zranění z důvodu přetěžování specifických segmentů. Celkově je nezbytný další výzkum s cílem lépe porozumět této problematice a identifikaci optimálního tréninkového přístupu pro prevenci maladaptivních dopadů a zranění u sportovců s různými úrovněmi specializace.

## **2.4 Dlouhodobá koncepce sportovního tréninku**

Na sportovní trénink můžeme nahlížet jako na účelně organizovaný proces rozvíjení pohybových schopností a dovedností sportovce ve vybrané sportovní disciplíně s cílem dosáhnout co nejvyšší možné sportovní výkonnosti s respektováním individuálních potřeb jedince (Dovalil et al., 2002). Orchard et al. (2012) navrhl hypotetické vztahy mezi tréninkem (nedostatečným i nadměrným), zraněními, kondicí a výkonem ve fotbale, ačkoli tenhle model je možné implementovat i na další sporty. Oba extrémy tréninkového zatížení (příliš nízký, nebo vysoký) by mohly zvýšit riziko zranění, snížit kondici a ovlivnit výkon týmu (viz obrázek č. 2). Tento vztah je klíčový pro pochopení dlouhodobé koncepce sportovního tréninku. Je důležité si uvědomit, že při plánování tréninku je nutné zohlednit také tréninkový věk sportovce, který do značné míry může ovlivňovat adaptaci na tréninkový stimul (Gabbett, 2016).

Gabbett (2006) zkoumal tréninkové zatížení, míru zranění a změny fyzického výkonu u mladších (~ 17 let) a starších (~ 25 let) hráčů ragbyové ligy během 14týdenního kondičního programu. Trénink zlepšil svalový výkon a maximální aerobní výkon u obou skupin hráčů, ale větší zlepšení bylo pozorováno u mladších hráčů. Tréninková zátěž a míra zranění byla naopak vyšší u starších hráčů. To naznačuje, že mladší a starší hráči mohou reagovat odlišně na stejný tréninkový podnět, a proto by měly být tréninkové programy upraveny tak, aby braly v úvahu individuální charakteristiky jedinců.



Obrázek č. 2: Vztahy mezi tréninkem, úrovní kondice a rizikem zranění.

Zdroj: Orchard et al. (2012)

Bylo navrženo několik modelů nebo rámcových doporučení pro rozvoj mládeže (Ford et al., 2011; Lloyd & Oliver, 2012, 2019). Tyto modely představují různé cesty, které děti mohou absolvovat od vstupu do sportovního prostředí až po následné etapy sportovního tréninku, které jim umožní optimalizovat dosažení jejich cílů ve sportu (Horn, 2015). Modely rozvoje mladých sportovců by měly respektovat věkové zákonitosti sportovce, s nimiž je spjatý biologický a psychologický vývoj jedince (Vičar, 2018).

Lloyd & Oliver (2012) předkládají dlouhodobý model rozvoje mladých atletů (z angl. Long-Term Athletic Development, LTAD), který zahrnuje sportovní rozvoj od raného dětství (od 3 let) až po dovršení dospělosti (21 let, z angl. adulthood) pro obě pohlaví. Autoři doporučují rozvoj svalové síly jako prioritu pro prevenci zranění a rozvoj základních pohybových dovedností. Dále bylo prokázáno, že děti mohou bezpečně a efektivně provádět silový trénink za dohledu kvalifikovaného personálu (Lloyd et al., 2015). Je klíčové si uvědomit, že úspěch LTAD závisí také na kvalitě vzdělání a instrukcí poskytovaných trenérem (Myer et al., 2011). Byly popsány případy zranění u dětí a adolescentů způsobené nadměrným a nevhodným zatížením v tréninku (Cleary et al., 2011), ačkoli většina z nich byla náhodné povahy a snižovala se s věkem (Myer et al., 2009). Aby se minimalizovala rizika těchto případů, je klíčové, aby trenéři měli relevantní kvalifikaci v oblasti síly a kondice a také pedagogické dovednosti, aby dokázali efektivně komunikovat s mladými sportovci. Klíčovým prvkem rozvoje mladých sportovců (z angl.

Youth Physical Development; YPD) je, že během středního dětství (6 až 11 let; z angl. mild childhood) by měly být hlavním cílem rozvoj základních pohybových dovedností, jako jsou síla, rychlost a obratnost, a to převážně pomocí nespecifických stimulů vzhledem ke sportovní specializaci (Perič & Pecha, 2014). Když sportovci vstoupí do období adolescence (od 12 let), stávají se důležitějšími další komponenty jako specifické dovednosti pro daný sport, výbušná síla a hypertrofie (díky zvýšenému androgennímu prostředí spojenému s tímto vývojovým stadiem) (Lloyd et al., 2015). Důležitost individualizace jedince z hlediska pohlaví, věku, stupně maturace a výkonnostní úrovně sportovců by měla být zohledněna při plánování LTAD (Lloyd & Oliver, 2012).

#### **2.4.1 Věkové zákonitosti v jednotlivých obdobích ontogeneze**

Pro účely naší práce se budeme zabývat převážně tělesným vývojem v rámci ontogeneze jedince. Lidský vývoj je charakterizován dlouhodobou změnou tvarů, velikostí a funkcí od novorozence až po dospělého člověka (Bogin, 2015). Aßmann & Hermanussen (2013) tvrdí, že průběh procesu je v podstatě stejný u všech dětí, ačkoli tempo se může u dvou stejně starých jedinců značně lišit. Mezi základní faktory, které tento proces ovlivňují, patří genetické predispozice a specifické prostředí (Bogin, 2015). Růst neodmyslitelně patří k vývoji jedince a je převážně charakterizován změnami kvantitativních znaků, jako jsou zvětšení velikosti těla či jeho jednotlivých částí. Přibližně do dovršení 18. roku života je hlavní biologickou vlastností jedince růst s proměnlivou intenzitou v rámci jednotlivých období života (Malina & Geithner, 2011). Falkner (2013) popisuje růst ve tvaru písmene „Z“, protože pozorujeme rychlý růst v batolecím a raném dětství, stálý růst během mladšího školního věku, rychlý růst v období puberty a následně klidný růst až do jeho ukončení v období po adolescenci (18–20 let). S růstem a vývojem se také spojuje pojem zrání, což na rozdíl od růstu hodnotí kvalitativní změny ve všech tkáních, orgánech a orgánových soustavách (Eisenmann et al., 2020). Tento proces může být měřen v různých biologických systémech (např. kosterním, sexuálním, somatickém, dentálním) (Malina & Bouchard, 2004). Zralost lze také posuzovat z hlediska statusu, tempa a načasování (Cumming et al., 2021). Zatímco status odkazuje na stupeň zralosti, jehož jedinec dosáhl v konkrétním čase pozorování (např. předpubertální, circumpubertální nebo postpubertální), tempo označuje, jak rychle, nebo pomalu jedinci postupují na cestě k dospělosti. Naopak časování se týká hodnocení vzhledem k chronologickému věku, kdy se konkrétní specifické události, jako jsou menarche,

puberta, vrchol růstového spurtu (z angl. Peak high velocity, PHV), vyskytují (Cumming et al., 2021). Rozdílnost ve statusu, tempu a časování zrání je především závislá na genetických faktorech, i když každý z nich může být ovlivněn vnějšími faktory, jako jsou extrémní podmínky, chudoba, hladomor nebo stres (Malina et al., 2015). Děti stejného chronologického věku se mohou lišit až o pět až šest let vzhledem k jejich kosternímu věku, což je etablovaný ukazatel zralosti u mládeže (Johnson, 2015). Aßmann & Hermanussen (2013) prezentují, že zrání nervové a endokrinní soustavy je zodpovědné za pohlavní a kostní zrání během pubertálního věku.

Představený výzkum je zaměřen na jedince reprezentující dvě stadia školního věku: pubescenci (starší školní věk, 11 až 15 let) a adolescenci (15 až 19 let) (Vágnerová, 2012). V zahraniční literatuře se můžeme setkat s odlišnou terminologií pro rozdělení jednotlivých fází ontogeneze. Běžně se využívá rozdělení do tří stadií: dětství (Childhood) (od 3 do 11 let), adolescence (od 12 do 21 let) a dospělost (Adulthood) (21 let a více) (Lloyd & Oliver, 2012). Salmela-Aro (2011) dělí období adolescence ještě do tří skupin: raná adolescence (přibližný věk 11 až 13 let), střední adolescence (přibližný věk 14 až 17 let) a pozdní adolescence (přibližný věk 17 až 19 let). Tyto podskupiny mohou být užitečné pro lepší porozumění a zkoumání specifických aspektů adolescentního vývoje, protože každá z těchto fází může mít svá specifika a charakteristiky. Nicméně je třeba si uvědomit, že konkrétní rozdělení adolescentního věku se může lišit v závislosti na výzkumných cílech a přístupech jednotlivých studií.

#### *2.4.1.1 Období pubescence*

Období pubescence označované jako starší školní věk či raná/střední adolescence je vymezeno mezi 10.–11. až 15.–16. rokem života dítěte (Vágnerová, 2012). Suchomel (2004) tvrdí, že průběh pubertálního vývoje je velmi významně ovlivněn dědičností, tzn. že děti rodičů, kteří se řadili mezi pozdní dospívající, budou mít s velkou pravděpodobností opožděný nástup puberty, což platí i obráceně. Toto období se vyznačuje velkými inter-individuálními rozdíly s jedno – až dvouletým zpožděním mezi vrstevníky (Malina, 2019). Období puberty je také charakterizováno jako fáze přechodu od dětství k začínající dospělosti, kde dochází ke stabilizaci funkcí vnitřních orgánů (srdce a plíce) a celkovému vyvážení tělesných proporcí, což se významně podílí na výkonnosti pubescentů (Dovalil & Choutka, 2010). Roth & Divall (2016) prezentují tohle období jako období nestability a nového přizpůsobení. Pubescence je biologicky



vymezena zpočátku rozvojem sekundárních pohlavních znaků a na konci tohoto období dochází k pohlavní dospělosti, což se projevuje u dívek nástupem pravidelné ovulace a u chlapců spermatogeneze (Malina, 2019). Krejčířová & Langmeier (2006) dělí tohle období ještě na fázi prepuberty trvající od 11 do 13 let a následnou fázi tzv. vlastní puberty od 13 let a končící ve věku 15 až 16 let. S počátečním nástupem prepuberty mohou vznikat jisté těžkosti s obratností a plynulostí pohybu a hráči také hůře ovládají komplikovanější cvičení. Jedním z důvodů je rozsáhlá vývojová přeměna a tzv. překotný somatický i fyziologický vývoj spojený s růstem většiny orgánů (Dovalil & Choutka, 2010). Ačkoli se relativně rychle zvyšuje svalová síla, šlachová a vazivová pevnost či kostní zránění se vyvíjí rozhodně pomaleji (Suchomel, 2004). Proto je velmi důležité dbát na prevalenci některých negativních projevů, které by mohly mít za následek přetížení jednotlivých segmentů v tomhle věkovém období (Jayanthi et al., 2022). Logickým opatřením je proto zařazování více rovnovážných cvičení, zapojování ostatních částí organismu (především těch, které se málo vyskytují ve vybraném sportu), častější střídání činností a zvýšení aktivního odpočinku před pasivním (Suchomel, 2004). Období puberty je spojeno s významnými biologickými a psychickými změnami způsobenými převážně činností žláz s vnitřní sekrecí (produkce hormonu) (Bogin, 2015). Největší změny, které jsou pozorovatelné už na první pohled, jsou výrazné výškové či hmotnostní přírůstky. PHV je dosahováno přibližně kolem 14. roku života u chlapců (13,4-14,4 let), u dívek kolem 12. roku života (11,4-12,2 let) (De Ste Croix, 2007). Malina (2019) uvádí, že výškové přírůstky jsou ročně kolem 10–12 cm, v některých extrémních případech až 15–20 cm. Vignerová et al. (2006) uvádí, že za posledních 100 let došlo k výraznému posunu tohoto mezníku, kde na začátku 20. století byl PHV stanoven kolem 17. roku života. V současné době je to už zmíněný 13. rok života, což se reflektuje také do LTAD, a s tím spojený rozvoj jednotlivých pohybových schopností. S dřívějším nástupem PHV je také pochopitelné, že dochází dřív k ukončení růstu (kolem 18. roku života) v porovnání s 21. rokem na začátku 20. století (Vignerová et al., 2006). Tenhle trend je pravděpodobně spojený s „urychleným“, způsobem života, což se odráží ve zránění jednotlivce. Malina (2019) dodává, že po dosažení PHV dochází k uzavírání růstových štěrbin a růst se zpomaluje.

#### 2.4.1.2 *Období adolescence*

Období adolescence nebo dorosteneckého věku nastupuje po bouřlivém období pubescence (starší školní věk), které bylo charakteristické tzv. přestavbou motoriky (Dovalil & Choutka, 2010). Přesné časové vymezení tohoto období není tak zřejmé jako období pubescence (11 až 15 let) a můžeme pozorovat určitou nekonzistentnost také v odborné literatuře (Lloyd & Oliver, 2012; Vágnerová, 2012; Salmela-Aro, 2011; Krejčířová & Langmeier, 2006). Jedním z důvodů může být, že při stanovení tohoto rozhraní se musí počítat s individuální oscilací jednotlivých mezníků ve vývoji jedince zapříčiněnou stavem zrání způsobeným převážně genetickými predispozicemi (Malina & Geithner, 2011). Pro naši práci je stěžejní nastavit horní hranici dorosteneckého věku až na 19 let, a proto budeme využívat vymezení dle Vágnerová (2012), která prezentuje období adolescence v rozmezí 15 až 20 let. U adolescentů na rozdíl od pubescentů nedochází už k tak výrazným kvantitativním změnám z hlediska tělesné výšky, a to zejména u dívek, kde mezi 15. až 18. rokem věku je nárůst výšky o 1 cm v porovnání s chlapci, kde nárůst činí až 7 cm (Vagnerová et al., 2006). U chlapců dochází k dokončení změn proporcionality, typická jsou širší ramena, mohutnější končetiny a trup, u dívek zase primárně pozorujeme růst ňader či obvodové míry boků (Malina & Geithner, 2011). Kožní žlázy zvyšují svou produkci, tělo tak dostává i výraznější pach (Hollenstein & Lougheed, 2013). Suchomel (2004) uvádí, že v tomto období jde o jakési dobudování proporcionality, které souvisí také s růstem trupu v porovnání s růstem párových končetin (dlouhé kosti), jako to bylo v období pubescence. Vrcholí také vývoj duševních a psychických vlastností a jedná se v podstatě o upevňování dosažené dospělosti.

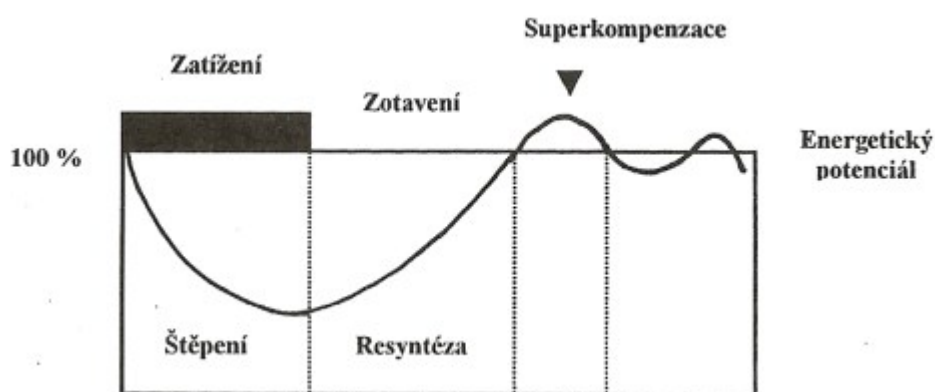
#### 2.4.2 **Intersexuální rozdíly v průběhu ontogeneze**

V předpubertálním období se významně neliší úroveň pohybových schopností jako síla, rychlost, vytrvalost a obratnost v rámci pohlaví, což naznačuje, že bez ohledu na pohlaví se mohou aplikovat podobné tréninkové programy a metody (Beunen & Malina, 2008). Na začátku prepubescence jsou rozdíly v tělesné výšce a hmotnosti mezi pohlavími jen velmi malé, dokonce v závěru prepubescence (kolem 13. roku) v důsledku dřívějšího nástupu dospívání předstihují dívky chlapce především v tělesné výšce (Malina & Geithner, 2011). Zatímco růst organismu v obdobích před pubertou je podněcován především růstovým hormonem a výživou, pro pubescenci je typické zvýšené spolupůsobení pohlavních hormonů a gonadotropinů (Beunen & Malina, 2008). PHV je

u dívek méně intenzivní a současně kratší (končí před 13. rokem života), zatímco u chlapců je teprve před vrcholem (De Ste Croix, 2007). Chlapci tento deficit v následném období rychle dohání a v konečném důsledku jsou v průměru vyšší a těžší, neboť jejich akcelerace je intenzivnější a déletrvajíc (Malina & Geithner, 2011). V období adolescence se objevují výrazné rozdíly v rámci pohlaví, kdy muži dosahují lepších výkonů ve většině pohybových schopností s výjimkou flexibility (Beunen & Malina, 2008). V průběhu růstového spurtu v období puberty dochází u žen ke specifickým fyziologickými procesům, které mohou ovlivnit jejich výkon (Hewett et al., 2004; Myer et al., 2008). Mezi tyto procesy patří nárůst tělesného tuku, začátek menstruačního cyklu, zvýšená laxita kloubů, valgózní postavené kolenních kloubu a zvýšená závislost na strategiích přistávání s dominantní účastí čtyřhlavého svalu. Všechny tyto faktory byly spojovány s vyšším rizikem nekontaktního poranění předního zkříženého vazy u žen v porovnání s muži (Quatman et al., 2006).

## 2.5 Maladaptace ve sportu

Biochemickým principem pro zvyšování výkonnosti ve sportu je superkompenzace (viz obrázek č. 3), což znamená dočasné zvýšení energetických zdrojů v buňkách po předchozím vyčerpání v důsledku fyzického zatížení (Dovalil et al., 2002). Pro dosažení této superkompenzace je důležité dodržovat správné poměry mezi zatížením a odpočinkem. Toto období lze využít pro zahájení dalšího tréninku a optimalizaci výkonnosti (Zatsiorsky et al., 2020).



Obrázek č. 3: Teorie superkompenzace ve sportu.

Zdroj: Dovalil et al. (2002)

Navrhování optimálního tréninkového programu je složitý proces, který zahrnuje pečlivou manipulaci s několika tréninkovými proměnnými, jako jsou zatížení, objem,

intenzita, interval odpočinku a výběr cviků (Zatsiorsky et al., 2020). Grandou et al. (2020) upozorňují, že intenzivní trénink spolu s nedostatečným zotavením může vést ke snížení výkonu doprovázenému fyziologickými nebo psychologickými příznaky, což se projeví jako maladaptace. Zatsiorsky et al. (2020) uvádějí, že základem úspěšného tréninku je přetížení (z angl. overload, OL), jež musí být dostatečně velké, aby se dosáhlo následného zlepšení. Ačkoliv když je OL nevhodně zvolené, může se projevit ve formě maladaptace, mezi které řadíme funkční přetížení (z angl. functional overreaching, FOR), nefunkční přetížení (z angl. nonfunctional overreaching, NFOR) nebo syndrom přetrénování (z angl. overtraining syndrome, OTS) (Meeusen et al., 2013). FOR nakonec vede k lepším výkonům po adekvátním zotavení, avšak pokud sportovec nedodrží rovnováhu mezi tréninkem a regenerací, může se vyvinout NFOR. Rozlišení mezi NFOR a OTS je složité a závisí na klinických výsledcích a případných doprovodných symptomech (únava, bolest svalů, atd.). Klíčovým faktorem při rozpoznání OTS může být tzv. prodloužená maladaptace, která ovlivňuje také biologické, neurochemické a hormonální regulační mechanismy. Obecně se příznaky OTS, jako jsou únava, snížení výkonu a náladové poruchy, považují za závažnější než příznaky NFOR (viz tabulka č. 6). Prevence a včasná diagnostika maladaptivních stavů jsou zásadní, protože neexistují pevně stanovené terapeutické prostředky (kromě odpočinku), které by dokázaly obrátit škodlivé účinky přetrénování (Grandou et al., 2020).

Tabulka č. 6: Proces zatížení v tréninku a maladaptační dopady.

Proces	Trénink (přetížení)	Intenzifikace tréninku		
		Funkční přetížení	Nefunkční přetížení	Syndrom přetrénování
Výstup	Akutní únava	Krátkodobé přetížení	Extrémní zátěž	Extrémní zátěž
Odpočinek	Několik dní	Několik dní až týden	Několik týdnů až měsíc	Měsíc a víc
Výkon	Zvýšení	Dočasné snížení (např. tréninkový kemp)	Stagnace Snížení	Snížení

Zdroj: Meussen et al. (2013)

Kučera et. al., (2011) prezentují maladaptaci jako reakci na zátěž, která neodpovídá uznaným kritériím fyziologických adaptací. Maladaptace může mít závažné

negativní dopady zejména při tréninkovém procesu dětí, kde nevhodně zvolená zátěž neumožní sportovci vykonat požadovaný cvik technicky správně a vede k vytvoření náhradních pohybových vzorců, což však není přínosné pro další rozvoj. Ve sportech, které se vyznačují jednostrannými pohybovými úkoly, jako jsou tenis, golf nebo šerm, může vysoký objem tréninku bez zařazení kompenzačních cvičení v průběhu času vést k nežádoucím maladaptacím dopadům ve formě jednostranného přetěžování (Jayanthi et al., 2020; Myer et al., 2015).

### **2.5.1 Definice pojmu asymetrie v reflexi sportu**

Jeden z prvních konceptů asymetrií popsal Van Valen (1962), který představil koncept tří různých typů asymetrie, které můžeme pozorovat u člověka. Předpokládá se, že první dva typy, směrová asymetrie a antisymetrie, jsou vývojově řízené a velmi důležité pro další rozvoj člověka. Směrová asymetrie poukazuje na charakteristiku, která se neustále vyvíjí do dané strany, například poloha a rozložení orgánu. Antisymetrie představují tendenci vyvíjet se směrem k určité straně, ale strana, kde k tomu dojde, je ukazatelem směru dominance (Van Valen, 1962; Watson & Thornhill, 1994). Typickým příkladem je lateralita (praváctví, leváctví). Naopak třetí skupinu zastupují tzv. kolísavé asymetrie (z angl. fluctuating asymmetry, FA), které jsou výsledkem reakce člověka na environmentální stres prostředí (Longman et al., 2011). V kontextu sportu FA může vznikat jako reakce organismu na mechanické zatížení jedné strany, například asymetrické rozložení svalové hmoty na předloktí u tenistů ve prospěch dominantní ruky (Sanchis-Moysi et al., 2010). Watson & Thornhill (1994) doplňují, že jednotlivé typy asymetrií se mohou vyskytovat v různém zastoupení a také všechny současně u jedince, a proto je důležité vzít v úvahu tuhle skutečnost při jejich interpretaci. V kontextu sportovního tréninku byly FA zkoumány primárně pro jejich vztah s možným zvýšeným rizikem zranění či limitací ve výkonu. V naší práci se budeme věnovat pouze problematice typu asymetrie FA.

Auerbach & Ruff (2006) interpretuje asymetrii jako výrazný rozdíl mezi pravou a levou stranou nebo rozdíly mezi končetinami, pánví a trupem či horní a dolní částí těla (diverzifikace). Rozdíl mezi pravou a levou stranou je označován jako bilaterální asymetrie (z angl. bilateral asymmetry, BA), mezistranová asymetrie (z angl. inter-limb asymmetry), bilaterální rozdíly či bilaterální poměr (Guan et al., 2021; Kalata et al., 2021; Malý et al., 2019). Pro přehlednost budeme v naší práci využívat pojem BA (Kalata et al.,

2020). Při hodnocení asymetrie v rámci jedné končetiny (např. předo-zadní poměr) budeme využívat označení unilaterální asymetrie (z angl. unilateral asymmetry, UA). (Kalata et al., 2020). V literatuře se můžeme setkat také s pojmem vnitro-končetinová asymetrie (z angl. intra-limb asymmetry) či ipsilaterální poměr (z angl. ipsilateral ratio). Určitá úroveň asymetrie je u člověka přirozená a je spíše normou než výjimkou. Na druhé straně tato tendence ve sportu může znamenat zvýšené riziko přetěžování preferované končetiny u mladých dospívajících sportovců za předpokladu nezařazení kompenzačních cvičení (Sannicandro et al., 2014). Za zvýšenou BA se považuje hranice 10 %, která byla spojována se zvýšeným rizikem zranění (Liporaci et al., 2019) či limitací ve výkonu (Bell et al., 2014). Tahle hranice není v literatuře jednotná u všech studií, někteří uvádí vyšší hodnoty BA nad 15 % jako prediktor budoucího zranění (Dauty et al., 2016, Knapik et al., 1991) (viz kapitola 2.4.4 Asymetrie jako rizikový faktor zranění).

Maloney (2019) zmiňuje ještě 4. typ asymetrie – tzv. sportovní asymetrii, která je výsledkem dlouhodobé adaptace a reakce na obsah motorických požadavků vybrané sportovní specializace. Typ aktivity, do které je sportovec zapojen, spolu s jejich objemem expozice sportu pravděpodobně ovlivní velikost asymetrie. Hart et al. (2016) porovnávali muskuloskeletální morfologii dolních končetin u zkušených ( $> 3$  let;  $n = 28$ ) a méně zkušených ( $\leq 3$  roky;  $n = 27$ ) fotbalových hráčů. Zkušení hráči vykazovali výrazně větší asymetrie v parametrech, jako je průřezová oblast (z angl. cross-sectional area) tibiální hmoty v porovnání s méně zkušenými hráči. Tohle zjištění naznačuje, že asymetrie jsou adaptivním důsledkem, který je ovlivněn délkou sportovní specializace. Naopak Fousekis et al. (2010) tvrdí, že u fotbalových hráčů se střední (5–7 let) a krátkou (méně než 5 let) tréninkovou zkušeností byl pozorován vyšší stupeň BA u momentu svalové síly extenzorů kolene měřené izokinetickým dynamometrem v porovnání s hráči s delší tréninkovou zkušeností (více než 8 let). Autoři předkládají vysvětlení, že hráči s delší profesionální zkušeností si tréninkem osvojují symetričtější používání svých dolních končetin pro hraní fotbalu, což má za následek lepší adaptaci na fotbalové požadavky.

Xaverova et al. (2015) upozorňuje na chronické zatížení jedné strany těla, které může vést k asymetriím až na tkáňové úrovni a v průběhu času vyústit ve vážná zranění, jež neumožní návrat k profesionálnímu sportu. Z výše uvedeného textu můžeme konstatovat, že problematika asymetrií ve sportu je velmi obsáhlá a současné studie mají nejednou odlišné závěry, a proto je potřeba dalších vědeckých studií pro jejich objasnění.

### ***Výpočet a velikost bilaterální asymetrie***

Existuje více vzorců pro výpočet asymetrie/symetrie, což představuje výzvu pro praktiky při interpretaci výsledku, protože často není zřejmé, proč by měl být jeden vzorec vybrán před druhým. Bishop et al. (2020) uvádí 10 různých vzorců pro výpočet asymetrie/symetrie (viz tabulka č. 7), které mají svůj opodstatněný význam vzhledem k účelu vyhodnocení asymetrie. Některé se dají využít pouze u návratu po zranění (porovnání zraněná vs. nezraněná končetina; vzorec č. 1 a 2) a další se liší v použití dominantní vs. nedominantní končetina (vzorce č. 5–7, 11), pravá vs. levá končetina (vzorec č. 3), silnější vs. slabší končetina (vzorce č. 4 a 8). Dále je potřeba zohlednit také provedení testu (unilaterální vs. bilaterální provedení). Impellizzeri et al. (2007) uvádí vhodnější využití vzorce č. 4 (silnější vs. slabší dolní končetina v rámci zvoleného testu) při bilaterálním vertikálním výskoku bez použití paží, resp. ruce v pozici u boků (z angl. countermovement jump, CMJ), protože u výpočtu, který zohledňuje pravou vs. levou končetinu, může dojít k odchylkám z matematického důvodu (v závislosti na tom, která končetina je silnější v testu). Při zohlednění silnější/slabší dolní končetiny v konkrétním testu se těmito rozdíly vyhneme.

Ještě důležitější je při dlouhodobém sledování využívat stejný vzorec po celou dobu, aby nedošlo k mylným závěrům při hodnocení snížení či zvýšení asymetrie. Bishop et al., (2020) uvádí, že v každém testu je přítomná inherentní chyba, která může pocházet z mnoha zdrojů. Pro vymezení, co je „skutečná“ asymetrie, je důležité zohlednit tuhle skutečnost při její interpretaci. Exell et al. (2012) zdůraznili potřebu zvážit koeficient variability (CV) daného testu z důvodu, že asymetrie může být považována za skutečnou, pouze pokud je větší než variabilita testu.

Tabulka č. 7: Přehled vzorců pro výpočet bilaterální asymetrie

	Název	Vzorec	Autor
1.	Index symetrie končetin 1	$(Inv/un-Inv)*100$	Logerstedt et al. (2012)
2.	Index symetrie končetin 2	$(1-Inv/un-Inv)*100$	Schiltz et al. (2009)
3.	Index symetrie končetin 3	$(R-L)/0.5(R+L)*100$	Bell et al. (2014)
4.	Index bilaterální síly končetin	$(Silnější-Slabší)/Silnější*100$	Impellizzeri et al. (2007)
5.	Index bilaterální asymetrie 1	$(D-ND)/(D+ND)*100$	Kobayashi et al. (2013)
6.	Index bilaterální asymetrie 2	$(2*(D-ND)/(D+ND))*100$	Wong et al. (2007)
7.	Index asymetrie	$(D-ND)/(D+ND/2)*100$	Robinson et al. (1987)
8.	Index symetrie	$(Vyšší-Nižší)/Celková*100$	Shorter et al. (2008)
9.	Úhel symetrie	$(45-\arctan(L/R))/90*100$	Zifchock et al. (2008)
10.	Standardní procentuální rozdíl	$100/((Nejvyšší)/(Nejnižší)-1)+100$	Bishop et al. (2020)
11.	Index bilaterální asymetrie 3	$((D-ND)/D)*100$	Malý et al., (2015)

Legenda: Inv-vzraněná, Un-nezraněná, R-pravá, L-leva, D-dominantní, ND-nedominantní

Zdroj: Modifikováno dle Bishop et al., (2020)

### ***Směr asymetrie***

Vyhodnocování směru asymetrie je běžně využíváno jako hodnocení asymetrie, která směřuje k jedné straně, například pravá vs. levá, dominantní vs. nedominantní nebo v případě návratu do sportu po zranění zraněná vs. nezraněná končetina. V situaci, kdy se sportovec vrací do tréninkového procesu po zranění, je zjevný rozdíl mezi končetinami, a proto je pravděpodobné, že směr asymetrie se vždy bude přiklánět k nezraněné končetině. Na druhé straně, když jsou sportovci zdraví (pravidelná účast v tréninkovém



procesu) a probíhá tzv. screening v rámci předsezónního testování, konzistence směru asymetrie může být nižší a pouhé vyjádření velikosti nemusí být dostačující pro potřeby tréninkových intervencí (Bishop et al., 2020). Navíc analýza konzistence asymetrie (přiklánějící se k té samé straně) mezi různými testy při unilaterálním izometrickém dřepu, vertikálním výskoku CMJ a výskoku po předchozím seskoku (z angl. drop jump, DJ) vykazovala pouze mírnou až střední úroveň shody (Bishop et al., 2019). To vedlo k nedávným návrhům, že interpretace asymetrie mezi končetinami by měla být prováděna spíše individuálně než použitím průměrné hodnoty skupiny (Bishop et al., 2022).

### **Nezávislost asymetrie**

Velikost či směrovost asymetrie se může lišit v závislosti na konkrétním testu a jeho interpretaci (Bishop et al., 2016; Benjanuvatra et al., 2013; Maloney et al., 2016). Benjanuvatra et al. (2013) porovnávali silové impulsy levé a pravé dolní končetiny při unilaterálním a bilaterálním vertikálním výskoku CMJ. Výsledky prokázaly, že prezentované asymetrie u bilaterálního výskoku CMJ neodpovídaly asymetriím při unilaterálním provedení. Jedním z důvodů může být, že během bilaterálního výskoku sportovci upřednostňují stranovou dominanci (v prospěch dominantní dolní končetiny), což není možné při provádění jednostranných úkolů. Maloney et al. (2016) zkoumali prevalenci bilaterální asymetrie u „tuhosti nohou“ (z angl. vertical leg stiffness, VLS) při provádění tří různých vertikálních výskoků (maximální výkon u DJ jednožez a oboužez, odrazové testy (z angl. hopping test) různé intenzity provedení (submaximální a maximální). VLS vyjadřuje schopnost nohy absorbovat a využít energii při kontaktech se zemí. Sportovci s vyšší VLS mají tendenci lépe využívat energii uloženou ve svalových a vazivových strukturách, což může být výhodou při běhu, odrazech a dalších pohybových úkolech, kde je důležitá rychlá a efektivní reakce nohy na podporu těla. Ukázalo se, že u všech maximálních výkonů byly detekovány vyšší asymetrie v porovnání se submaximálním výkonem. Z toho důvodu je nutné jasně stanovit, jaký stupeň asymetrie je vhodné předpokládat a k čemu má detekovaná asymetrie sloužit. Pro detekci a interpretaci zvolené asymetrie je vhodnější vybírat test, který se více shoduje se vzorci pohybu využívanými ve vybraném sportu.

### **2.5.2 Druhy asymetrie**

Pro vyjádření bilaterální asymetrie bylo využito mnoho parametrů, které byly vypočítané pomocí různých vzorců vyjadřujících úroveň BA (Bishop et al., 2016). Pro

identifikaci asymetrie byly využité funkční motorické testy (Attwood et al., 2019; Chalmers et al., 2017), testy statické (Malá et al., 2017) a dynamické stability (Plisky et al., 2021), funkční silové testy (Steidl-Müller et al., 2018), testy explozivní síly dolních končetin (Bell et al., 2014) anebo izokinetické testování (Croisier et al., 2008; Dauty et al., 2016; Kalata et al., 2021). Pro lepší pochopení asymetrických projevů a jejich konzistentnosti ve sportu se nabízí seskupovat sledované asymetrie, které mají podobný charakter či metody pro její získávání.

V následujícím textu podrobněji představíme druhy asymetrií, které byly vybrány pro posouzení asymetrie v rámci naší studie. Těmito druhy jsou hodnocení morfologické asymetrie a asymetrie zjišťované během testů rovnováhy, síly a základních lokomočních činností.

#### *2.5.2.1 Hodnocení asymetrie z hlediska morfologie*

Pojem morfologické asymetrie běžně zahrnuje poměry délky či obvodové míry horních a dolních končetin (Tabor et al., 2019), velikost a tvar orgánů či anatomických struktur (Hart et al., 2016; Ducher et al., 2005; Krzykala et al., 2023) nebo rozložení komponent tělesného složení jako svalová hmota, extracelulární a intracelulární voda, procento tělesného tuku či tukuprostá hmota (Malá et al., 2020). Informace o tělesném složení sportovce jsou velmi užitečné pro objasnění vztahu k sportovnímu výkonu (Krzykala et al., 2023). Krzykala et al. (2020) uvádí, že hodnoty tělesného složení se dají identifikovat jak v laboratorních, tak v terénních podmínkách. V laboratorních podmínkách jsou nejčastěji využívány metody jako magnetická resonance (MRI) či počítačová tomografie (CT), které poskytují podrobnější a přesnější obrazy anatomických struktur. Za zlatý standard se považuje metoda denzitometrie (z angl. dual-energy X-ray absorptiometry, DEXA) (Blake & Fogelman, 2007). Její hlavní výhodou je vysoká přesnost a citlivost, což umožňuje detekovat i drobné změny v tělesné kompozici. Naopak nevýhody zahrnují vysoké náklady na pořízení a údržbu zařízení, odborně vyškolený personál pro obsluhu a také časovou náročnost. Mezi nejznámější a nejpoužívanější terénní metody patří kaliperace (měření tloušťky kožních řas) a bioelektrická impedance. V porovnání s laboratorními metodami disponují výrazně nižší přesností měření a výsledky mohou být ovlivněny různými faktory (např. stav hydratace, teplota, vlhkost vzduchu nebo chyba examinátora při kaliperaci), což je potřeba zohlednit při interpretaci výsledků. Na druhou stranu poskytuje řadu výhod, jako jsou použitelnost v terénních

podmínkách, rychlost měření, časová nenáročnost či nízké finanční náklady na pořízení a obsluhu.

#### 2.5.2.2 *Hodnocení asymetrie u rovnováhových testů*

Mezi nejčastěji využívané metody pro zjištění asymetrických projevů u rovnováhových úkolů patří testy statické posturální (Sluder et al, 2017; Malá et al., 2017; Krištofic et al., 2018) a dynamické stability (Plisky et al., 2006; Butler et al., 2016; Stiffler et al., 2017). Mezi nejčastější testy dynamické rovnováhy patří Y balance test (Plisky et al., 2021; Butler et al., 2016) nebo test „záření hvězdy“ (z angl. star excursion balance test) (Stiffler et al., 2017). Pro vyhodnocování je běžně využívaná dosažená vzdálenost v požadovaném směru (Plisky et al., 2021). Mezi výhody zmíněných testů patří časová nenáročnost a využití v terénních podmínkách, ačkoli výsledky postrádají informace o průběhu funkcí nohy během realizace testů (např. silové a tlakové změny chodidla). Pro ověření úrovně posturální stability se využívá primárně stoj v unilaterálním či bipedálním postavení (Marencakova et al., 2018), kde se nejčastěji vyhodnocuje parametr „střed tlakového působení“ (z angl. centre of pressure, COP), který je považovaný za zlatý standard měření posturální stability. COP je bodové umístění, kde se koncentrují všechny vertikální síly působící na zem v důsledku kontaktu chodidla s povrchem (Clark et al., 2010). Je možné hodnotit také změny tlaku působících na zem v předozadním nebo laterálním směru (Krzykala et al., 2023). Rovnováhové schopnosti během stoje řídí složitý systém, který je zabezpečovaný udržováním jednotlivých poloh segmentů těla (Brown et al., 2018). Složitost tohoto systému tkví v zapojení obrovského počtu svalů a integraci více systémů najednou (vizuální, vestibulární a proprioreceptivní). Jedna z prvotních složek, která přispívá ke zhodnocení okamžité polohy tělesných segmentů, se jmenuje propriorecepce (Jia & Zhang, 2022). Nejdůležitější roli při unilaterálním a bipedálním postavení hraje bezpochyby funkce nohy (Kirby et al., 2017). Pozice kloubů a funkce dolních končetin pracují ve vzájemných funkčních vztazích a vedou ke sdruženým pohybům v rámci otevřeného i uzavřeného kinematického řetězce (Lewitova, 2017). Kirby et al. (2017) uvádí, že dynamická funkce nohy představuje složité biomechanické procesy, které jsou předpokladem pro realizaci chůze či běhu. Morrison et al. (2018) poukazuje na ještě složitější problematiku dětské nohy, protože na rozdíl od dospělé nohy vstupují do procesu proměnné, které souvisí s dozráváním (osifikace, remodelace kostí, vývoj nervové soustavy a pod.). Krištofic et al. (2018) vidí největší

přínos posturální stability pro pohybové aktivity ve zlepšení vnímání somatosenzorických a otolických informací. Výběr sportu a účast na specializovaném tréninkovém procesu do velké míry směřují vývoj různých posturálních změn (Marenčáková et al., 2018).

### *2.5.2.3 Hodnocení asymetrie při základních lokomočních činnostech*

Analýza asymetrie v chůzi a běhu je užitečná z hlediska potenciálního výkonu a prevence zranění (Ciacci et al., 2013). Potenciální nerovnováha produkce síly v běhu různé intenzity je již mnoho let oblíbeným výzkumným tématem (Exell et al., 2012; Laroche et al., 2012; Pappas et al., 2022; Parrington & Ball, 2016) a poskytuje informace o asymetrických interakcích během těchto pohybů. Dosavadní zjištění mohou být prospěšná při rozvíjení kondičních a kompenzačních režimů u nedávno zraněných účastníků, aby se stupeň asymetrie mohl použít jako metrika při plánování požadovaných rehabilitačních/rekondičních intervencí (Holling et al., 2022). Mezi nejčastější způsoby hodnocení asymetrie u běhu či chůze patří časovo-prostorové parametry jako délka kroku, doba trvání kroku, kadence, kinematické (Jiang et al., 2021; Stifler et al., 2021) a kinetické (Furlong & Egginton, 2018; Rumpf et al., 2014) parametry. Z hlediska kinetických parametrů se například vyhodnocují síly působící na podložku (z angl. ground reaction force, GRF) pomocí silových desek při jednotlivých cyklech běžecského kroku, jako jsou odraz a došlap (Furlong & Egginton, 2018). Z pohledu kinematiky jsou prezentované například asymetrie při zrychlení (měřeno v jednotkách gravitace), které jsou zachycené pomocí specializovaných akcelometrů umístěných na různých částech těla (Ueberschär et al., 2019). Také se setkáváme se složitějšími postupy, které hodnotí úhel asymetrie na jednotlivých kloubech s využitím geometricko-vektorových aspektů. V případě analýzy úhlů v kloubech je nutné jednoznačně definovat časový okamžik chůze či běhu (Wayner et al., 2023).

### *2.5.2.4 Hodnocení bilaterální a unilaterální asymetrie v silových testech*

#### ***Bilaterální asymetrie***

Bilaterální silové asymetrie mezi končetinami se týkají rozdílů v silovém výkonu nebo silové připravenosti jedné párové končetiny v komparaci s druhou (Keeley et al., 2011). Pro hodnocení a evaluaci síly dolních končetin jsou dnes využívány různé metody včetně izokinetické dynamometrie, jež hodnotí izolovaný pohyb v kloubech (Kalata et al., 2021; Malý et al. 2021), dále složitější pohybové vzorce, jako je dřep na silových

platformách (Bishop et al., 2020), bilaterální a unilaterální vertikální výskoky (Kozinc et al., 2021; Loturco et al. 2020), bilaterální a unilaterální horizontální odrazy (Bishop et al., 2021; Roso-Moliner et al., 2023) nebo izometrický tah s osou umístěnou ve střední části stehna (z angl. isometric midthigh pull test) (Morris et al. 2020). Protože pohybové schopnosti jsou měřitelné nepřímou, hodnotí se výsledky testu, kde jsou pozorované silové projevy, a jejich vyjádření je buď v jednotkách měřících přímo sílu, a to v absolutních (N), nebo relativních hodnotách (N/kg). Další možností je vyhodnocování testů na základě dosažené výšky/vzdálenosti (cm, m) při vertikálním výskoku či horizontálním odrazu. Při specializovaných zařízeních jako izokinetická dynamometrie se můžeme setkat s parametry jako moment svalové síly (N·m) či celková vykonaná práce (W). Bishop et al. (2020) doporučují při interpretaci výsledků vertikálních výskoků zohlednit kromě dosaženého výsledku (výška výskoku) také průběh pohybu a generalizování síly v průběhu času (silový impulz). Croisier et al. (2008) upozorňuje, že ačkoli se identifikace asymetrie pomocí izokinetické diagnostiky ukázala jako účinná při prevenci zranění, asymetrie při testech vertikálního výskoku jsou více podobné specifickému pohybovému vzoru. Na druhou stranu není možné identifikovat konkrétní svalové skupiny, které odpovídají bilaterálním rozdílům. V ideálním případě by kromě izokinetického hodnocení měla být doplněna informace o asymetrickém působení během vertikálního výskoku či horizontálního odrazu, aby byly zajištěny široké a spolehlivé diagnostické informace o celkové asymetrii (Menzel et al. 2013).

### **Unilaterální asymetrie**

Kromě vyhodnocování bilaterální asymetrie se také využívá vyhodnocení UA, kde se hodnotí poměr dosaženého výkonu mezi jednotlivými svalovými skupinami v rámci jedné končetiny (Hewet et al., 2008). Mezi nejběžnější metody patří izokinetická dynamometrie, kde se posuzuje nejčastěji poměr svalové síly hamstringů ke kvadricepsům (H:Q poměr) (Kalata et al., 2020; Malý et al., 2019). Parametr poukazuje na úroveň nerovnováhy v síle mezi agonistickými a antagonistickými svalovými skupinami kolenního kloubu (Dauty et al., 2016). Identifikace nižší svalové síly jednoho svalu ve srovnání s druhým slouží primárně ke dvěma hlavním účelům (Kellis et al., 2022). V první řadě může identifikovat sportovce s výraznou nerovnováhou síly kolenního kloubu v předsezónním období a poté tuto informaci využít k navržení vhodných tréninkových programů pro obnovení H:Q poměru na požadovanou úroveň (Dauty et al., 2016)). V druhém případě je identifikace důležitá pro sportovce při návratu

po zranění nebo jiných patologických stavech a tuto informaci lze využít k navržení cílených rehabilitačních programů (Zwolski et al., 2015).

H:Q poměr může být interpretován pomocí různých kombinací typů kontrakcí (koncentrických, excentrických a izometrických), úhlových rychlostí a typů momentu svalové síly (maximální moment nebo moment specifický pro úhel). H:Q poměr může být vypočítán různými způsoby, včetně konvenčního (stejný typ svalové kontrakce), funkčního (excentrická svalová kontrakce/koncentrická svalová kontrakce), a smíšeného (excentrická svalová kontrakce/koncentrická svalová kontrakce při různých úhlových rychlostech pohybu) poměru. Zmíněné typy poměrů se využívají kvůli různým pohledům na svalovou aktivitu během pohybu. Konvenční poměr zohledňuje kontrakce stejného typu pro oba svaly, zatímco funkční poměr lépe reflektuje vztah mezi hamstringy a kvadricepsy během typického pohybu kolenního kloubu v sportovních aktivitách (když kvadricepsy produkují sílu pomocí koncentrické svalové kontrakci, hamstringy jsou aktivovány jako antagonisté při prodlužování svalu – excentrická svalová kontrakce). Smíšený poměr se snaží kombinovat poměr mezi excentrickou kontrakcí hamstringů a koncentrickou kontrakci kvadricepsů při různých úhlových rychlostech pohybu pro lepší experimentální validitu a praktickou aplikaci v oblasti sportovního tréninku (Kellis et al., 2022). V naší práci byl využit konvenční poměr, vypočítaný pomocí hodnot maximálních momentů stejného typu kontrakce (koncentrická kontrakce) pro obě svalové skupiny (Kellis, 1998). Systematická přehledová studie poukazuje na průměrné hodnoty v rozmezí 52 % až 67 % v závislosti na úhlové rychlosti (Baroni et al., 2020). Willigenburg et al. (2014) doporučuje zvýšenou spodní hranici nad 60 % z důvodu zvýšení rizika zranění, když jsou hodnoty nižší. Je vhodné uvést, že při hodnocení UA znamená vyšší H:Q poměr nižší hodnoty UA. Vyšší H:Q poměr svalové síly prokázal pozitivní vztah s výkonem rychlosti se změnou směru (COD) a lineárním sprintem (Coratella et al., 2018). Kalata et al. (2020) zjistil významný vliv druhu sportu (jako nezávislý faktor) na konvenční H:Q poměr, kde skupina fotbalistů dosahovala vyšších hodnot v porovnání se skupinou volejbalistů a tenistů zahrnutou jako asymetrické sporty. Hewett et al. (2008) hodnotili 22 studií zahrnujících 1455 mužských probandů (nesportovci) a prokázali významnou korelaci mezi poměrem H:Q a úhlovou rychlostí pro izokinetické testování (vyšší rychlost = vyšší H:Q poměr). Toto zjištění naznačuje specifický vztah mezi maximálním točivým momentem a rychlostí svalové kontrakce kolenních flexorů a extenzorů, kde hamstringy jsou obecně svaly s vyšším počtem

rychlých svalových vláken 2. typu a dokážou rychleji produkovat svalovou sílu oproti skupině kolenních extenzorů.

### 2.5.3 Asymetrie ve sportu

Četné výzkumy prokázaly asymetrie u sportovců všech 3 skupin (SY, ASY, HY), které se vyznačují podobností při provádění sportovně-specifických pohybů. Z první skupiny SY evidujeme asymetrie u sportovní populace běžců na krátké vzdálenosti (Exell et al., 2012), vytrvalostních běžců (Ueberschär et al., 2019; Dellagrana et al., 2015), cyklistů (Bini et al., 2014; García-López et al., 2015; Rauter & Simenko, 2021), vzpěračů (Lauder & Lake, 2008) či silových trojbojařů (Luk et al., 2014). Ze skupiny ASY byla prokázána asymetrie u volejbalu (Teixeira et al., 2014; Magalhaes et al., 2004; Hadzic et al., 2014; Kozinc & Šarabon, 2020), šermu (Turner et al., 2016), golfu (Zemková et al., 2019) či tenisu (Juzwiak et al., 2008; Ducher et al., 2005; Sanchis-Moysi et al., 2010). HY skupina, která je zastoupená převážně kolektivními sporty, byla prezentovaná asymetrie u fotbalu (Kalata et al., 2021; Fousekis et al., 2010; Malý et al., 2010) florbalu (Malý et al., 2019), basketbalu (Versic et al., 2021) či házené (Teixeira et al., 2014).

V následujícím textu se podrobněji budeme věnovat kvantifikaci asymetrií (velikost, typ, lokace) vzhledem k vybrané sportovní specializaci, resp. druhu sportu dle Kalata et al. (2020).

#### 2.5.3.1 Sporty s převládajícím symetrickým charakterem pohybového zatížení

Rauter & Simenko (2021) provedli výzkum zaměřený na morfologické asymetrie u silničních cyklistů různé výkonnostní úrovně pomocí 3D scanu a bioelektrické impedance. Mezi výkonnostně silnější skupinou cyklistů byly prokázány významné BA pouze ve dvou měřených proměnných v horní části těla, a to v obvodu předloktí a lokte. Naopak u skupiny s nižší výkonností byly zaznamenány významné BA v deseti měřených proměnných z celkových šestnácti. Konkrétně se jednalo o proměnné v horní polovině těla – obvod předloktí a lokte, plocha a objem paže; v dolní polovině těla – svalová hmota na dolních končetinách, délka nohou, obvod kolene a lýtka, objem a plocha chodidel. Index asymetrie u všech sledovaných parametrů byl v rozmezí 0–4,39 %, kde nejvyšší stupeň asymetrie byl zaznamenán v objemu paže (4,39 %). Tabor et al. (2019) zkoumali morfologické asymetrie, konkrétně délku končetin u 12 elitních běžkyň na střední tratě (800–1500 m). Zjištěné asymetrie byly zanedbatelné, pohybovaly se v rozmezí do 1 cm.

Uberschaher et al. (2019) uvádí, že u juniorských elitních běžců na dlouhé tratě bylo zjištěno, že celkový průměr bilaterální asymetrie zrychlení běhu (měřeno v jednotkách gravitace (g), což je standardní jednotka pro měření tíhového zrychlení Země) při běhu různé rychlosti, zjišťovaný pomocí 3D akcelometrů umístěných v tibiální části, se pohyboval v rozmezí  $\pm 5$  %. Dále bylo prokázáno, že ačkoli se dopadové síly zvyšovaly s rychlostí běhu, stupeň asymetrie zůstal konzistentní (Girard et al., 2019). Při pohledu na absolutní indexy asymetrie zrychlení lze dojít k závěru, že asymetrie zrychlení u běhu naměřené v tibiální části menší než  $\sim 13$  % mohou být považovány za „normální“ u juniorských elitních běžců na dlouhé tratě (27 chlapců:  $18,5 \pm 1,8$  roku; 18 dívek:  $18,2 \pm 2,7$  roku). Protože by výrazné asymetrie mohly predisponovat sportovce ke zvýšenému riziku zranění, autoři v závěru doporučují posouzení ortopedem nebo fyzioterapeutem, pokud bilaterální asymetrie zrychlení přesahují 20–30 %.

Bini et al. (2014) uvádějí u cyklistiky zvýšení bilaterálních asymetrií (maximální točivé silové momenty měřené specializovanými senzory na klikách kola) s narůstající zátěží nebo únavou ve prospěch dominantních končetin. Studie zabývající se asymetrií u cyklistů se většinou omezovaly na měření maximálního točivého momentu (Bini et al., 2014; Carpes et al., 2007) nebo vnější mechanické práce (Bini et al., 2007). Jedná se o omezené měření síly produkované dolními končetinami, protože procento sil působících na pedály, jež vedou k točivému momentu, je pouze 40–60 % (Arkestein et al., 2013). Z toho důvodu jsou existující důkazy o BA v cyklistice ovlivněné mírou techniky produkce svalové síly a schopností cyklistů generalizovat sílu kolmo na kliky (Javaloyes et al., 2021). Carpes et al. (2007) uvádí hraniční práh pro BA u maximálních točivých momentů sledovaných na klikách kola u cyklistů  $\sim 3$  %, ačkoli některé studie uvádí značně vyšší procenta  $\sim 23$ –30 % (Bini et al., 2007). Studie hodnotící aktivaci svalů na dolních končetinách u cyklistů během 40 km jízdy na kole při zvyšování výkonu neprokázaly významné rozdíly v aktivaci svalů (m. gastrocnemius, m. vastus lateralis, m. biceps femoris) dolních končetin ve srovnání obou končetin (Carpes et al., 2007). McFall et al. (2022) zkoumal silové asymetrie (maximální síla při odrazu) u skoku do dálky a vertikálních výskoků u cyklistů. Průměrné hodnoty představovaly pro bilaterální CMJ  $5,4 \pm 3,6$  %. Pro unilaterální CMJ byly hodnoty asymetrie o něco vyšší ( $10,0 \pm 5,4$  %) a pro unilaterální skok do dálky byla průměrná hodnota asymetrie  $5,9 \pm 4,0$  %.

V plavání se trenéři i sportovci snaží o optimální model plavecké techniky a optimalizace individuálního stylu, aby získali mechanickou výhodu a maximalizovali



plavecký výkon (Evershed et al., 2014). Ztráta síly, koordinace nebo rozsahu pohybu v kinetickém řetězci může vést k sub-optimálnímu výkonu (Scher et al., 2010). Mezi nejčastěji používané testy pro identifikaci asymetrií při plavání patří tzv. záchytné plavání. Během tohoto testu je plavec fixován ke stabilnímu bodu, obvykle za pomoci lana nebo pásu, což mu umožňuje plavat na místě. Dos Santos et al. (2013) prezentovali BA propulzní síly během dvouminutového testu plaveckým způsobem kraul u dospělých plavců ( $21,7 \pm 5,0$  let), kde průměrné hodnoty asymetrie se pohybovaly v rozmezí 8,18–35,90 % v závislosti na měřeném parametru. Rozmezí pro průměrné hodnoty BA v jednotlivých parametrech byly následující: maximální síla (peak force) = 13,94–15,87 %; průměrná síla (mean force) = 8,18–9,33 %; velikost gradientu produkce síly v čase (rate of force development) = 33,90–35,90 %; silový impuls (force impuls) = 13,72–20,69 %. Při porovnání plavců na základě úrovně výkonu (nad nebo pod průměrným časem skupiny) byla zjištěna větší asymetrie u plavců s nižším výkonem ve srovnání s plavci dosahujícími vyššího výkonu. Kalata et al. (2020) prezentuje u mladých triatlonistů ( $15,25 \pm 0,94$  let) hodnoty bilaterální asymetrie (maximální momenty svalové síly) extenzorů ( $5,42 \pm 3,02$  %) a flexorů kolena ( $8,30 \pm 7,79$  %). Konvenční H:Q poměr měřený izokinetickým dynamometrem pomalou úhlovou rychlostí ( $60^\circ/\text{s}$ ) představoval hodnoty  $\sim 53$  % pro obě dolní končetiny.

#### 2.5.3.2 *Sporty s převládajícím asymetrickým charakterem pohybového zatížení*

Sanchis-Moysi et al. (2010) zkoumali asymetrii kostní hmoty (BMC) a hustoty (BMD) u mladých tenisových hráčů (průměrný věk  $\sim 10,6$  let). Tenisté byli rozděleni do dvou výkonnostních skupin podle počtu tréninkových dnů v týdnu (TP5: 5 dní/týden,  $n = 10$ ; TP2: 2 dny/týden,  $n = 14$ ). V TP5 měla dominantní paže v porovnání s nedominantní paží vyšší hodnoty BMC o  $22,40 \pm 4,10$  % a BMD o  $4,60 \pm 1,50$  %. U TP2 byly hodnoty asymetrie nižší, ale stále statisticky významné (BMC:  $12,10 \pm 2,20$  %, BMD:  $3,8 \pm 0,6$  %). Tenis je popisován jako sport, kde je zátěž pohybového aparátu výrazně jednostranná (Filipic et al., 2016). Během každého tenisového úderu je paže, která drží raketu, pouze posledním článkem kinetického řetězce zahrnujícího sekvenční aktivaci svalů trupu, aby došlo k rotaci trupu a laterálním pohybům, aby se usnadnil přenos momentu z nohou a trupu na paži a raketu (Elliott, 2006). Bell et al. (2014) prezentují velikost morfologické asymetrie v rozložení svalové hmoty na dolních končetinách (pánevní oblast, stehno, holeně) měřenou pomocí DXA u sportovců různých sportovních disciplín, včetně

volejbalu, tenisu a golfu. Průměrné hodnoty BA byly v rozmezí v oblasti stehen (9,83–16,46 %), pánevní oblasti (10,63–11,86 %) a holeni (3,70–9,10 %). Většina studií se zabývá rozdíly mezi dominantní a nedominantní horní končetinou u tenistů, ale méně se věnuje rozdílům na dolních končetinách (Filipcic et al., 2016, Chappelle et al., 2022). Filipcic et al. (2016) prokázal výrazné bilaterální rozdíly v obvodu stehna, kde obvod levého stehna byl o 7–15 % větší u pravorukých hráčů. Toto zjištění má svůj základ ve skutečnosti, že nohy jako první část kinetického řetězce hrají mimořádně důležitou roli v pohybu při nastavení se do pozice na začátku úderu a také po jeho ukončení.

Hadzic et al. (2014) prezentují u volejbalu významné silové asymetrie mezi dominantní a nedominantní paží při testu vnitřní (muži  $9,19 \% \pm 13,5 \%$ ; ženy  $9,19 \% \pm 19,8 \%$ ) a vnější rotace ramenního kloubu (muži  $4,20 \% \pm 17,80 \%$ ; ženy  $13,30 \% \pm 20,9 \%$ ) ve prospěch dominantní horní končetiny. Tento rozdíl je logický z důvodu vyšší četnosti používání dominantní končetiny při sportovně specifických pohybech, jako jsou smeč a podání. Magalhaes et al. (2004) porovnávali BA měřené izokinetickým dynamometrem u extenzorů kolena mezi dospělými fotbalisty a volejbalisty. Výsledky prokázaly, že ve skupině volejbalistů byl zjištěn významně vyšší stupeň BA extenzorů kolena ( $10,10 \pm 6,90 \%$  vs.  $7,30 \pm 6,50 \%$ ) v porovnání se skupinou fotbalistů vyjádřený maximálním silovým momentem při pomalé úhlové rychlosti ( $90^\circ/\text{s}$ ). Podobně také Kalata et al. (2020) prezentují významně vyšší hodnoty BA extenzorů kolena měřené izokinetickým dynamometrem u sportů ASY (volejbal a tenis) v porovnání s mladými fotbalisty ( $9,40 \pm 4,32 \%$  vs.  $5,46 \pm 5,70 \%$ ) u pomalé úhlové rychlosti ( $60^\circ/\text{s}$ ). Průměrné hodnoty asymetrií flexorů kolena u skupiny ASY byli  $11,74 \pm 7,41 \%$ . Bell et al. (2014) zkoumali silové asymetrie během vertikálního výskoku CMJ, konkrétně u parametrů maximální síly (PF) a výkonu (PP) u sportovců různých sportovních disciplín, včetně volejbalu, tenisu a golfu (byly zahrnuty i sporty jako fotbal, softbal, hokej a americký fotbal). U 95 % (2,5 až 97,5 percentil) sportovců byly zjištěny hodnoty mezi 11,79–16,79 % pro PF a 9,89–11,45 % pro PP.

### 2.5.3.3 Hybridní sporty

Maly et al. (2019) prezentuje morfologické asymetrie (distribuce svalové hmoty) měřené pomocí bioelektrické impedance na dolních a horních končetinách u mladých hráčů fotbalu a florbalu. Asymetrie jsou prezentovány jako průměrné hodnoty skupin v absolutních hodnotách (kg), kde pro fotbalisty byly naměřeny hodnoty  $0,10 \pm 0,11 \text{ kg}$

a pro florbalisty  $0,63 \pm 0,28$  kg. Malá et al. (2023) prezentuje hodnoty morfologických asymetrií (distribuce svalové hmoty) na dolních a horních končetinách v relativních hodnotách (%) u mládežnických fotbalových hráčů různé výkonnostní úrovně (národní, elitní, sub-elitní, amatérská). Hodnoty asymetrie pro dolní končetiny byly v rozmezí 2,71–3,95 %, pro horní končetiny byly hodnoty o něco menší, a sice od 1,69–2,53 %. Významné rozdíly z hlediska výkonnostní úrovně byly pozorovány pouze u dolních končetin, kde hráči nejvyšší výkonnostní úrovně (národní tým) dosahovali nižší hodnoty v porovnání se sub-elitní skupinou. Malá et al. (2020) přichází se zjištěním, že u hráčů mládeže (U12–U16) nebyla detekovaná morfologická asymetrie a mezi kategorie s významnou prevalencí asymetrií patří až kategorie U17 a dospělí hráči. Tohle zjištění indikuje, že vyšší stupeň morfologické asymetrie narůstá z delší účasti specializovaného tréninku (vyšší tréninková a herní praxe).

Cigali et al. (2004) analyzoval bilaterální asymetrie při chůzi pomocí vertikální reakční síly působící na podložku (z angl. vertical ground reaction force, VGRF) u běžné populace ( $n = 31$ ) a fotbalistů ( $n = 33$ ). VGRF bylo sledováno na 4 místech chodidla (pata, střední část chodidla, vnější a vnitřní část přední části chodidla). Měřená vzdálenost byla 8 metrů a hodnoty byly získávány pomocí speciálních vložek, které byly připojeny k analogově-digitálnímu konvertoru pomocí kabelového adaptéru. Průměrné hodnoty asymetrií byly vypočítané dle indexu symetrie (Robinson et al., 1987) v rozmezí 7,69–39,97 % pro běžnou populaci a 14,47–28,36 % pro fotbalové hráče v závislosti na lokaci detekované asymetrie. Barrera et al. (2021) prezentuje průměrné hodnoty asymetrie  $\sim 7$  % (délka skoku) při horizontálních unilaterálních odrazech (unilaterální skok do dálky z místa, trojskok) a  $\sim 13$  % (výška výskoku) u vertikálního výskoku DJ pro dospělé hráče basketbalu a házené ( $18,9 \pm 3,9$  let). Zajímavostí je, že ačkoli byl prokázán významný vliv sportu na výkon v testech explozivní síly dolních končetin (dosažená vzdálenost/výška), bilaterální asymetrie byly srovnatelné mezi skupinami sportovců.

Kalata et al. (2020) prezentuje u mladých fotbalistů kategorie U16 hodnoty bilaterální asymetrie (maximální momenty svalové síly) u extenzorů ( $5,46 \pm 5,70$  %) a flexorů kolena ( $6,97 \pm 7,01$  %) při pomalé úhlové rychlosti ( $60^\circ/\text{s}$ ). H:Q poměr vypočítaný pouze z koncentrické svalové kontrakce ( $60^\circ/\text{s}$ ) představoval hodnoty  $\sim 60$  % pro obě dolní končetiny. Malý et al. (2018) prezentují, že zvýšenou UA (nižší H:Q poměr) ve spojení s únavou, která může negativně ovlivnit specifické dovednosti (přesnost kopu) u elitních fotbalových hráčů.

#### 2.5.4 Asymetrie jako rizikový faktor zranění

Asymetrie byla zkoumána jak pro svůj vliv na riziko zranění (Ciacci et al., 2013; Chalmers et al., 2017), tak na sportovní výkon (Bell et al., 2014) nebo využití při návratu do hry po zranění (Ithurburn et al., 2015; Schmit et al., 2015). Přítomnost asymetrií u sportovců po zranění byla často prezentována (Ithurburn et al., 2015; Jordan et al., 2017), což vedlo k předpokladu, že asymetrie a výskyt zranění jsou kauzálně spojeny. Současné chápání povahy sportovních zranění naznačuje, že etiologie zranění je multifaktoriální (Tee et al., 2020) a komplexní (Fuller et al., 2012) a že rizikové profily se neustále vyvíjejí díky rekurzivní povaze zranění (Meeuwisse et al., 2007). Z hlediska vztahu asymetrií a výskytu zranění je nutné zmínit, že měření asymetrií v jednom časovém bodě je problematické, protože jejich úroveň může být ovlivněna dalšími faktory (rozdílná fáze tréninkového cyklu, akumulovaná únava apod.) (Meeuwisse et al., 2007). Dále vzhledem ke komplexním interakcím, k nimž dochází mezi rizikovými faktory, je nevhodné posuzovat rizikové faktory nezávisle (Helme et al., 2021). Místo toho by mělo být do každé analýzy zahrnuto co nejvíce známých rizikových faktorů (Lauersen et al., 2014). Mezi tyto faktory, které zvyšují riziko zranění, můžeme zařadit únavu, tréninkovou zátěž, fyzickou připravenost, předchozí zranění, chronologický věk, pohlaví apod. (Jauhiainen et al., 2021; Lehr et al., 2013).

Dauty et al. (2016) zjistili, že kombinace testů izokinetické síly a vyhodnocování asymetrií během předsezónního testování by mohly detekovat až 79 % všech poranění hamstringů. Nedostatečná izokinetická síla hamstringů a vyšší unilaterální asymetrie predikuje u hráče 5,6krát vyšší riziko poranění hamstringů během fotbalové sezóny (Lee et al., 2018). Pokud BA u hráče přesahuje hodnoty 10 % mezi extenzory kolena, zvyšuje se až 16krát riziko zranění pohybového aparátu a až 28krát zranění menisků (Liporaci et al., 2019). Pokud je detekována bilaterální asymetrie větší než 10 % mezi flexory kolena, riziko zranění se zvyšuje 12krát (Liporaci et al., 2019). Helme et al. (2021) provedl meta-analýzu s ohledem na výskyt asymetrie a její posouzení k prevalenci zranění a dospěl k závěru, že mnoho studií nedostatečně kvantifikovalo dodatečné rizikové faktory (např. věk, pohlaví, historii předchozích zranění apod.) anebo využilo nevhodné statistické metody pro vyhodnocení dat. Z výsledku je mnohokrát nejasné, zda pozorované souvislosti mezi asymetrií a zraněním byly výsledkem asymetrie samotné, nebo výsledkem jiných rizikových faktorů, čímž se docílilo chybných závěrů. Riley et al. (2019) dodává, že mnoho autorů zabývajících se tímto tématem nesplňuje požadavek na

velikost vzorku poranění, které činí víc než 200 případů (Bahr et al., 2003) pro využití vhodných statistických procedur, jako je statistické modelování. Výzkumníci by se proto měli před sběrem dat zapojit do odhadu velikosti vzorku, aby se ujistili, že dostatečný počet zranění pravděpodobně podpoří typ analýzy, kterou hodlají použít. Helme et al. (2021) tvrdí, že výsledky dosavadních studií prokazující funkční asymetrii dolních končetin jako rizikového faktoru sportovních úrazů jsou střední až nízké kvality (nevhodné statistické postupy, malý analyzovaný vzorek apod). Výzkumy jsou omezené vysokou mírou rozdílů v metodologických přístupech a kvalitě. Je zapotřebí další výzkum, který přijme klíčová doporučení, jako jsou standardizované definice zranění, kvantifikace asymetrie a přijetí vícerozměrného přístupu pro hodnocení rizika zranění (Bahr et al., 2018). Helme et al. (2021) doplňuje, že závěry výzkumu u zraněných hráčů však nemohou určit, zda pozorovaná asymetrie byla přítomna před zraněním, nebo zda hrála nějakou příčinnou roli ve výskytu nebo závažnosti. Existuje mezera ve výzkumných důkazech, což ztěžuje praktikům činit plně informovaná rozhodnutí týkající se intervencí k obnovení funkční symetrie.

## 2.6 Vymezení vědeckého problému

Závažnost výskytu asymetrií ve sportu, a to zejména u mládeže, je aktuálním tématem nejen v České republice, ale i ve světě, o čemž svědčí množství studií publikovaných v tomto směru. Pozorujeme značnou variabilitu diagnostických postupů, které byly vybrány pro určení asymetrie (např. morfologie, rovnováhové testy, funkční motorické a silové testy, testy explozivní síly dolních končetin). Také byly využity různé vzorce pro výpočet asymetrie (index symetrie/asymetrie) (Bishop et al., 2020), jež mohou při stejných hodnotách v testu ukazovat odlišné velikosti asymetrie (Fort-Vanmeerhaeghe et al., 2016). Většina studií prezentuje asymetrie v rámci jednoho sportu nebo srovnává konkrétní sportovní disciplíny. Je důležité podotknout, že odlišné metodologické postupy často komplikují srovnání mezi vybranými sporty a je těžké pro klinické pracovníky pochopit, jakou úroveň asymetrie mohou očekávat u svých sportovců.

Některé studie zahrnují více sportů (konkrétní sporty), ale jejich výsledky jsou omezené výběrem použitých testů (detekovaná asymetrie pouze v jednom testu) či úrovní sportovní specializace (nízká úroveň specializace). Z našeho pohledu to nereflektuje skutečný vliv sportovní specializace na úroveň asymetrie. Lipoński (2003) uvádí více než 3000 různých sportů, což je samozřejmě nemožné zahrnout v rámci jedné studie. Z tohoto

důvodu se nabízí možnost seskupovat sporty na základě podobnosti biomechanických pohybových vzorců, které by mohly teoreticky vykazovat podobný stupeň asymetrie (Kalata et al., 2020).

Výzkum je unikátní v tom, že seskupuje sporty podle převládajícího charakteru pohybového zatížení dle studie Kalata et al. (2020), který prokázal významný vliv druhu sportu na úroveň asymetrie extenzorů a flexorů kolena (izokinetická dynamometrie). Je nutné uvést, že práce obsahovala značné limity: využití pouze jedné metodiky pro zjištění úrovně asymetrie (izokinetická dynamometrie), relativně malý smíšený vzorek (muži i ženy;  $n = 50$ ) pokrývající konkrétní věkové období (15–16 let). Z výše zmíněných důvodů si naše práce klade vědecké otázky, které by mohly objasnit problematiku asymetrií: Jak velkou úroveň bilaterální a unilaterální asymetrie můžeme očekávat u mladých sportovců (10 až 19 let) různé sportovní specializace? Existují a případně jak velké jsou rozdíly bilaterálních a unilaterálních asymetrií v závislosti na vybrané sportovní specializaci, chronologickém věku, pohlaví a výkonnostní úrovni? Existuje významná závislost mezi sledovanými asymetriemi z hlediska druhu asymetrie?

Naše práce by mohla poskytnout cenné informace pro klinické pracovníky zaměřené na mládež ohledně výskytu asymetrie při různých diagnostických postupech a pohybových úkolech (její velikosti a směru) v závislosti na druhu sportu, věkovém období, výkonnostní úrovni a pohlaví. Tato zjištění by mohla být užitečná při interpretaci výsledků (očekávané hodnoty) s ohledem na uvedené faktory stejně jako při tvorbě intervenčních programů pro vybrané skupiny.

## 3 CÍLE, HYPOTÉZY A ÚKOLY PRÁCE

### 3.1 Cíle práce

Primárním cílem práce je zjistit velikost a směr maladaptací indikátorů u mladých sportovců (10 až 19 let) a pomocí inferenční statistiky komparovat zjištěné asymetrie v reflexi druhů sportu (SY, ASY, HY), věkové skupiny (10–12 let, 13–15 let, 16–18 let), výkonnostní úrovně (elitní vs. sub-elitní) a pohlaví (muž vs. žena).

Sekundárním cílem je zjistit míru závislosti mezi asymetrií z hlediska druhu asymetrie (morfológická, asymetrie zjištěné pomocí diagnostiky vybraných parametrů u rovnováhových, silových a základních lokomočních činnostech).

### 3.2 Hypotézy práce

H1: Sportovci skupiny ASY budou dosahovat významně vyšší hodnoty bilaterální asymetrie u extenzorů a flexorů kolene v komparaci se sportovci SY a HY ( $p < 0,05$ ).

H2: Sportovci HY budou dosahovat významně nižší hodnoty unilaterální asymetrie (vyšší H:Q poměr) v porovnání se skupinou sportovců SY a ASY ( $p < 0,05$ ).

H3: Sportovci nejstarší věkové skupiny (16–18 let) budou dosahovat významně nižších hodnot bilaterálních asymetrií extenzorů a flexorů kolene v komparaci s mladšími věkovými skupinami (13–15 let a 10–12 let) ( $p < 0,05$ ).

H4: Předpokládáme „nezávislost“ mezi sledovanými asymetriemi z hlediska druhu (morfológická vs. silová) s malou velikostí efektu ( $r \leq 0,3$ ).

H5: Sportovci mužské skupiny budou dosahovat významně nižší hodnoty unilaterální asymetrie v porovnání se skupinou žen ( $p < 0,05$ ).

### 3.3 Úkoly práce

1. Na základě literární rešerše shromáždit dostupné informace týkající se problematiky asymetrií ve sportu.
2. Pro dosažení jednotlivých cílů práce vybrat a zajistit analyzovaný vzorek dle rozlišovacích kritérií (druh sportu, věkové kategorie, výkonnostní úroveň, pohlaví).

3. Vybrat validní metody pro zjištění bilaterálních a unilaterálních asymetrií pomocí laboratorních testů.
4. Realizace testování a kvantifikace detekovaných asymetrií.
5. Interpretace detekovaných asymetrií a komparace výsledků v reflexi druhu sportu, věku, výkonnostní úrovně a pohlaví.
6. Komparace s odbornou literaturou a vyhotovení závěru výzkumu.
7. Orientace budoucího výzkumu a doporučení do praxe.



## 4 METODIKA PRÁCE

### 4.1 Charakteristika výzkumného souboru

Analyzovanou skupinu tvořili mladí sportovci a sportovkyně ve věku od 10 do 19 let různé sportovní specializace ( $n = 694$ ; věk =  $15,2 \pm 2,1$  let; tělesná výška =  $169,9 \text{ cm} \pm 11,8 \text{ cm}$ ; tělesná hmotnost =  $59,6 \text{ kg} \pm 13,5 \text{ kg}$ ; % tělesného tuku =  $18,1 \pm 5,3 \%$ , tukuprostá hmota (FFM) =  $48,5 \text{ kg} \pm 11,6 \text{ kg}$ ). Detailnější popis základních antropometrických ukazatelů a počty sportovců v rámci vybraných skupin jsou zaznamenány v tabulce č. 8 (viz kapitola 5.1 Výsledky základních antropometrických ukazatelů v rámci vybraných skupin – výsledková část práce). Sportovní specializací je chápán kontinuální celoroční trénink v jednom sportu s vyloučením jiných sportů (Jayanthi et al., 2015; Brener et al., 2016). Dle studie Jayanthi et al. (2013) byli do výzkumu zařazeni pouze sportovci s vysokou úrovní sportovní specializace (viz inkluzivní kritéria). Výkonnostní úroveň byla posuzovaná na základě studie Lorenz et al. (2013), z důvodu obtížnosti stanovení výkonnostních charakteristik dle McKay et al. (2021) zejména u mladších věkových skupin sportovců (10–12 let a 13–15 let). Chronologický věk byl vypočítán jako rozdíl mezi datem realizace testování a dnem narození. Hráči (jejich zákonní zástupci) i trenéři byli obeznámeni s neinvazivní metodikou měření a jejich informovaný souhlas byl doložen před testováním. Výzkum byl schválený Etickou komisí UK FTVS pod číslem 228/2018 a byl realizovaný podle etických standardů Helsinské deklarace a výzkumu v oblasti sportovních věd (Harriss et al., 2017).

#### **Skupiny byly rozřazeny na základě rozlišovacích kritérií (nezávislé proměnné):**

- Podle převládajícího charakteru pohybového zatížení:
  1. symetrické (SY) – do této skupiny byly zařazeny sporty, které při vykonávání sportovně specifických pohybů využívají rovnoměrně obě končetiny: běh, plavání, cyklistika, triatlon, sportovní aerobik (Kalata et al., 2020; Brighenti et al., 2022; Kadri et al., 2021);
  2. asymetrické (ASY) – do této skupiny zařazujeme sporty, které při provádění sportovně specifických pohybů využívají přednostně preferovanou končetinu z důvodu vyššího stupně technických dovedností (např. tenisový úder): tenis, volejbal, golf (Kalata et al., 2020; Brighenti et al., 2022; Kadri et al., 2021);

3. hybridní (HY) – třetí skupinu tvoří sporty, které při provádění sportovně specifických pohybů využívají tzv. kombinované pohyby (hybridní). Pro tyto sporty je typické zastoupení pohybů s podobností skupiny SY (běh, chůze) a také ASY (hod, kop): fotbal, florbal (Kalata et al., 2020);
- Podle chronologického věku: 10–12 let (v rozmezí 10–12,99 let), 13–15 let (v rozmezí 13–15,99 let), 16–18 let (v rozmezí 16–18,99 let);
  - Podle výkonnostní úrovně: (elitní vs. sub-elitní) (Lorenz et al., 2013);
  - Podle pohlaví: (muž vs. žena).

### **Inkluzivní kritéria pro zahrnutí účastníků do výzkumu:**

#### **Druh sportu:**

- Minimální doba sportovní specializace byla 5 let (věková skupina 10–12 let > 3 let).
- Zaměření pouze na jeden hlavní sport.
- Vyloučení ostatních sportů (méně než 2h/týdně).
- Tréninkový proces více než 8 měsíců v kalendářním roce ve vybraném sportu.

#### **Výkonnostní úroveň:**

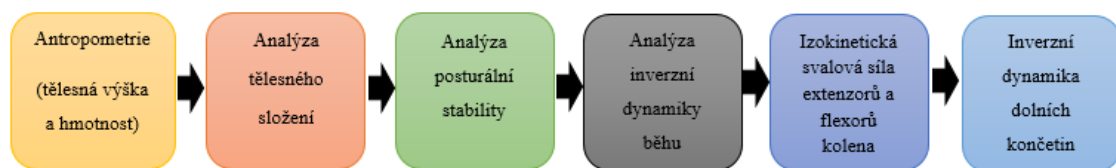
- Elitní skupina (nejvyšší výkonnostní stupeň v rámci organizovaných soutěží v daném sportu – 1. liga, řízená tréninková jednotka minimálně 5krát v týdnu).
- Sub-elitní skupina (druhý nejvyšší výkonnostní stupeň v rámci organizovaných soutěží v daném sportu – 2. liga, řízená tréninková jednotka minimálně 3krát v týdnu).

### **Exkluzivní kritéria pro vyřazení účastníků ze studie:**

- Nedokončení celkové testové baterie z objektivních či subjektivních důvodů (pocit diskomfortu či nevolnosti během testování).
- Zranění po dobu minimálně 3 měsíců před testováním, která by narušila kontinuální tréninkový a zápasový proces po delší dobu (více než týdenní mikrocyklus).
- Vážné zranění v celém průběhu sportovní kariéry, a to zejména dolních končetin (např. částečná či úplná ruptura předního zkříženého vazy), které by mohlo ovlivnit výsledky detekovaných asymetrií po delší dobu.
- Vysoce intenzivní činnost prováděná 48 hodin před testováním.

## 4.2 Organizace výzkumu

Sběr dat probíhal v období 9/2018–12/2022. Všechny testy byly realizované v Laboratoři sportovní motoriky (LSM) na Fakultě tělesné výchovy a sportu na Univerzitě Karlově (FTVS UK). Měření probíhalo za dodržení standardizovaných podmínek v rámci jednotlivých metodik na začátku přípravného období v rámci ročního tréninkového cyklu (v dopoledních hodinách). Sportovci byli předem obeznámeni s průběhem testovacího protokolu a s ním spojenými riziky. Aby se minimalizovalo riziko úrazů a stimuloval výkon v diagnostikovaných pohybových úkolech, bylo před každým testem provedeno adekvátní rozcvičení (viz kapitola 4.3 Metody získávání výzkumných údajů – jednotlivé metodiky). Laboratorní testování začínalo krátkou osobní anamnézou, kde jsme zjišťovali základní informace o testovaném (datum narození, sportovní specializace, délka sportovní specializace, historie zranění, dominance končetin). Realizace výzkumu proběhla v jeden testovací den v rámci souboru testovaných úkolů, která měla pevné pořadí (viz obrázek č. 4). Jednotlivé metody měření jsou popsány v kapitole o metodách získávání výzkumných údajů.



Obrázek č. 4: Postup jednotlivých měřených metodik

## 4.3 Metody získávání výzkumných údajů

### 4.3.1 Objektivizace velikosti a směru asymetrie

#### Bilaterální asymetrie

Pro náš výzkum jsme zvolili výpočet BA dle následujících vzorců s ohledem na doporučení pro zvolenou metodiku. Pro vyjádření morfologické asymetrie, asymetrie při testu posturální stability a silové asymetrie během vertikálního výskoku jsme zvolili vzorec s rozlišováním dominantní vs. nedominantní dolní končetiny (viz vzorec č. 1; Bishop et al., 2016; Malý et al., 2015). U testu izokinetické svalové síly extenzorů a flexorů kolena byl použitý vzorec s rozlišením silnější vs. slabší dolní končetina v jednotlivém testu (viz vzorec č. 2; Impellizzeri et al., 2007). Pro vyjádření bilaterální

asymetrie pomocí kinetické analýzy běhu jsme zvolili index symetrie dle Shorter et al. (2008) (viz vzorec č. 3).

$$\text{Bilaterální asymetrie} = \frac{\text{dominantní dolní končetina} - \text{nedominantní dolní končetina}}{\text{Dominantní dolní končetina}} \times 100 \%$$

(vzorec č. 1 – index bilaterální asymetrie 1)

$$\text{Bilaterální asymetrie} = \frac{\text{silnější dolní končetina} - \text{slabší dolní končetina}}{\text{Silnější dolní končetina}} \times 100 \%$$

(vzorec č. 2 – index bilaterální asymetrie 2)

$$\text{Index symetrie (SI)} = \frac{\text{vyšší hodnota} - \text{nižší hodnota}}{\text{celková hodnota}} \times 100 \%$$

(vzorec č. 3 – index bilaterální symetrie)

### **Unilaterální asymetrie**

Pro výpočet unilaterální asymetrie jsme zvolili konvenční poměr (H:Q poměr), který vyhodnocoval moment svalové síly v koncentrické svalové kontrakci (viz vzorec č. 4; Aagard et al., 1995).

$$\text{Unilaterální asymetrie} = \frac{\text{moment svalové síly hamstringů}}{\text{moment svalové síly quadricepsů}} \times 100 \%$$

(vzorec č. 4 – konvenční unilaterální H:Q poměr)

### **Interpretace bilaterální asymetrie na základě velikosti**

Na základě velikosti asymetrie jsme interpretovali BA následovně: 0–10 %, nevýznamná asymetrie (NA); 10–15 %, zvýšená asymetrie (ZA); nad 15 %, významná asymetrie (VA). Jednalo se pouze o metodiky inverzní dynamiky dolních končetin při vertikálním výskoku a izokineticke svalové síly extenzorů a flexorů kolena, u kterých byla tahle hranice spojována se zvýšeným rizikem zranění či vlivem na výkon (Bell et al., 2014; Croisier et al., 2008; Liporaci et al., 2019)

### **Směr bilaterální asymetrie**

Dominance dolních končetin byla určena pomocí odpovědi na otázku, která dolní končetina je preferovaná pro kopání (Malý et al., 2018). Směrovost asymetrie byla vyhodnocována ve dvou směrech: ve prospěch dominantní dolní končetiny (DK) či nedominantní dolní končetiny (NDK) na základě vyšší hodnoty v dosaženém testu. V případě rovnosti skóre („0“ rozdíl) obou dolních končetin směrovost nebyla hodnocena (NS). Určení směrovosti tímhle způsobem nám poskytla informace ohledně shody

subjektivního určení dominantní dolní končetiny a končetiny, která dosáhla vyšších hodnot v jednotlivých testech (Fort-Vanmeerhaeghe et al., 2016).

#### 4.3.2 Hodnocení antropometrických parametrů tělesná výška a hmotnost

Tělesnou výšku jsme zjišťovali pomocí mechanického antropometru SECA 242 (Seca, Německo) s přesností na 1 mm (viz obrázek č. 5). Měření bylo prováděné bez obuvi ve vzpřímeném postoji s patami u sebe. Sportovec byl požádán, aby zaujal pozici, kde se jeho paty, hýždě a lopatky dotýkají měřidla a hlava je ve vodorovné rovině (vodorovná rovina mezi okraji obou zvukovodů a dolním okrajem očníce). Tělesná hmotnost byla zjišťovaná pomocí digitální váhy SECA 769 (Seca, Německo) s přesností na 0,1 kg (viz obrázek č. 6). Vážení probíhalo s minimálním oděvem (spodní prádlo), ačkoli v některých případech zejména u dívek byl nadbytečný oděv (tričko, kraťasy) zohledněn při měření (odečten z celkové hmotnosti).



Obrázek č. 5: Měření tělesné výšky pomocí mechanického antropometru SECA



Obrázek č. 6: Měření tělesné hmotnosti pomocí digitální váhy SECA

#### 4.3.3 Hodnocení morfologické asymetrie pomocí testu tělesného složení

Tělesné složení bylo zjišťováno pomocí bio-impedanční metody (BIA) s použitím přístroje Tanita MC-980MA (Tanita Corporation, Japonsko), která je doporučena pro mládežnické kategorie (ICC = 0,999 – test-retest; senzitivita/specifická = 0,67/0,65 pro zdravé jedince) (Kabiri et al., 2015). Standardizované podmínky pro měření BIA byly zachovány (Kyle et al., 2004). V průběhu 24 hodin před měřením účastníci nekonzumovali žádné léky (včetně kofeinu) ani farmakologické látky, které by mohly ovlivnit výsledky měření. Jedná se o multifrekvenční impedanční přístroj, který umožňuje na základě topografické predikce strukturovat složky tělesného složení do jednotlivých segmentů (dolní a horní končetiny, trup). Po dobu 24 hodin před testováním, sportovci nevykonávali extenzivní ani intenzivní pohybovou aktivitu. Před samotným testováním byli sportovci požádáni o dezinfekci dlaní a plosky nohou pomocí dezinfekčních ubrousků z důvodu vyšší přesnosti měření (Kyle et al., 2004). Měření bylo realizováno s minimálním oděvem (spodní prádlo) a kovové předměty (prstene, řetízky, hodinky apod.) byli odstraněné před realizací měření. Mezi hodnotící parametry byla zařazena distribuce svalové hmoty mezi dominantní a nedominantní dolní končetinou v relativních (%) hodnotách (viz vzorec č. 1) (Malá et al., 2020). Tyto BA byly označovány v našem výzkumu jako morfologická asymetrie (MA).



Obrázek č. 7: Ukázka diagnostiky měření tělesného složení pomocí BIA

#### 4.3.4 Hodnocení asymetrie pomocí testu posturální stability

Pro hodnocení testu posturální stability bylo využito posturografické měření zařízením FOOTSCAN (RS scan; Belgie; 0,5 m × 0,4 m; 4100 senzorů; citlivost od 0,1 do  $\text{N}\cdot\text{cm}^{-2}$ ; frekvence 500 Hz). Výstupem měření posturální stability je velikost tlakového působení pod chodidly sportovce, ze kterého je vypočten střed tlakového působení (centre of pressure, COP) (Paillard et al. 2006). Měří se výchylky COP během celého testu a celková dráha (TTW – Total Travel Way) jako součet všech výchylek, která představuje vzdálenost, kterou těžiště tělesa absolvuje po celou dobu měření. V našem výzkumu byl využit unilaterální test „flamingo“ s vizuální kontrolou po dobu 60 s (viz obrázek č. 8) (Marenčaková et al., 2018). Sportovec byl instruován, aby zaujal polohu na testované dolní končetině tak, že přenesl hmotnost na jednu končetinu a druhou pokrčil volně vzad (semiflexe kolena), bez dotyku končetiny země. Pořadí, kterou dolní končetinou sportovec zahájí testování, bylo libovolné. V průběhu testu byly horní končetiny umístěné volně podél těla. Probandi stáli ve vzdálenosti 1,5 m od stěny, na které byl umístěný pevný bod (černá tečka o průměru 0,03 m v úrovni očí). V místnosti se nacházel pouze testovaný proband a zaškolený personál, který v maximální možné míře zajistil standardní podmínky testu. V případě, že sportovec nedokázal stanovenou pozici udržet po celou dobu testu (dotyk země), byla možnost test jednou opakovat. V případě, že ani druhý pokus nebyl platný, sportovec byl vyřazen z analyzovaného vzorku. Mezi

hodnotící parametry byl zařazen parametr, který udává rozdíl TTW při unilaterálním testu „flamingo“ mezi končetinami. Bilaterální rozdíly byly vypočítané pomocí vzorce, který rozlišuje dominantní vs. nedominantní dolní končetinu (viz vzorec č. 1). V naší práci ho budeme označovat jako asymetrie posturální stability při unilaterálním stoji (APS).



Obrázek č. 8: Ukázka diagnostiky měření posturální stability při unilaterálním testu flamingo

#### 4.3.5 Hodnocení asymetrie při analýze inverzní dynamiky běhu

Kvantitativní analýzu pohybu při lineárním běhu jsme zjišťovali pomocí 3D běhátko (H/P Cosmos Gaitway II S, Germany) (viz obrázek č. 9). Přístroj nabízí vysoce senzitivní analýzu parametru inverzní dynamiky běhu a vykazuje dobrou reliabilitu pro hodnocení kinetických parametrů (ICC = 0,83) (Nicholson et al., 2022). Meurisse et al. (2016) validovali algoritmus na 374 krocích zdravých probandů a 437 krocích probandů se zdravotním omezením. Medián relativní chyby byl 1,8 % pro zdravé jedince a 2,5 % pro zdravotně omezené (Meurisse et al., 2016). Samotnému testování předcházelo krátké rozcvičení na šlapacím ergometru (4–5 min, odpor (W) = 1,5násobek tělesné hmotnosti testované osoby) a 20 dynamických podřepů. Protokol zahrnoval běh různé intenzity, začínající rychlostí 12 km/h, což představuje běh mírné intenzity (tempo 6 minut na jeden kilometr). Na každé před-definované rychlosti sportovec absolvoval zatížení po dobu 1



minuty s cílem stabilizování běžeckého pohybového vzoru a záznam byl proveden posledních 10 sekund (Girard et al., 2019; Paquette et al., 2017). Po dokončení záznamu se rychlost zvyšovala o 2 km/h, s konečnou rychlostí 18 km/h (tempo 3 minuty 20 sekund na jeden kilometr). V případě mladších skupin 10–12 let a 13–15 let byla začáteční a konečná rychlost snížena o 2 km/h na 10 km/h a 16 km/h z důvodu fyziologických a výkonnostních charakteristik. Někteří sportovci měli minimální zkušenost s během v laboratorních podmínkách (zejména mladší skupiny), a proto byli předem dotazováni, zda zvládnou technicky provést běh na běžeckém pásu. V případě, že sportovec neměl žádnou nebo minimální zkušenost s běžeckým pásem, dostal prostor k seznámení se s testem na rychlosti 7-8 km/h. Z bezpečnostních důvodů byl sportovec průběžně dotazován, zda zvládne další zrychlení o 2 km/h. Ti, kteří nedosáhli požadované úrovně rychlosti, byli vyřazeni z analýzy dat. Mezi analyzované parametry byly zařazeny bilaterální asymetrie vypočítané u parametrů: maximální síla při odrazové (N, z angl. active peak force, APF) a dopadové (N, z angl. impact peak force, IPF) fázi běhu a impulz síly (N. s, z angl. force impuls, FI) (viz vzorec č. 3). Pro analýzu byli vybrané parametry při začáteční a konečné rychlosti běhu.



Obrázek č. 9: Ukázka diagnostiky inverzní dynamiky běhu pomocí 3D běhátko

#### 4.3.6 Izokinetická svalová síla extenzorů a flexorů kolena

Pro testování silových schopností dolních končetin byl využit isokinetický dynamometr (Cybex NORM<sup>®</sup>, Humac, CA, USA). Maximální hodnotu silového momentu (PT) jsme zjišťovali u extenzorů a flexorů kolena při koncentrické svalové kontrakci ve třech úhlových rychlostech pohybu (nízká = 60°/s, střední = 180°/s, vysoká = 300°/s) pro obě dolní končetiny. Impellizzeri et al. (2008) uvádějí vysoký koeficient reliability (ICC = 0,90–0,98). Vysoká míra reliability byla prokázána také pro hodnocení BA (3,2–8,7 %). Před samotným testováním proběhlo u každého sportovce krátké rozcvičení v podobě 3 sérií po 10 opakováních (dřep, výpad vpřed, zvedání středu těla (pánve) v pozici „glute bridge“), které bylo zaměřeno především na aktivaci testovaných svalových skupin (kvadriceps, hamstring). Testování probíhalo v pozici sedu a sedadlo dynamometru bylo ergonomicky nastaveno podle individuálních somatických charakteristik účastníka. Rozsah pohybu byl nastaven v rozmezí 0–90° (maximální extenze byla označena a nastavena jako „anatomická nula“ 0°). Trup a stehno testované končetiny byly fixované pomocí popruhů dynamometru tak, aby byl pohyb omezen pouze v jednom kloube (extenze–flexe kolena). Testovaný sportovec se držel během měření postranních rukojeti zařízení (viz obrázek č. 10). Testovací protokol se skládal z 5 tréninkových pokusů (warm-up) prováděných nízkou úhlovou rychlostí pro skupiny flexorů (hamstring) a skupinu extenzorů (kvadriceps) kolene se střední až submaximálním úsilím. Následně byly provedeny 2 pokusy s maximálním úsilím. Mezi jednotlivými testovanými rychlostmi byla zařazena standardní doba odpočinku v délce 1 min (Rahnama et al., 2005). Dle Wilhite et al. (1992) byl při testování zvolený postup od nejpomalejší k nejrychlejší úhlové rychlosti pohybu. Verbální a vizuální zpětná vazba byla poskytnuta po celou dobu měření. Tento postup je v souladu s metodologickými doporučeními pro testování izokinetické síly na izokinetickém dynamometru u mládeže (De Ste Croix et al., 2003). Pro další zpracování jsme hodnotili výsledek s nejvyšší hodnotou. Mezi hodnotící parametry bilaterální silové asymetrie byl zařazen silový poměr extenzoru (Q:Q) a flexorů (H:H) kolene (viz vzorec č. 2). Unilaterální silové asymetrie mezi svalovou skupinou hamstringů a kvadricepsů byly vyjádřené pomocí H:Q poměru (viz vzorec č. 4).



Obrázek č. 10: Ukázka diagnostiky izokineticke svalové síly extenzorů a flexorů kolena pomocí dynamometru Humac Norm

#### 4.3.7 Testy inverzní dynamiky dolních končetin při hodnocení vertikálního výskoku

Pro hodnocení inverzní dynamiky dolních končetin byly využity vertikální výskoky, které byly realizovány na 2 silových deskách (Kistler Instrument AG, Švýcarsko) snímající samostatně pravou a levou dolní končetinu. Data ze silových dosek byla zpracovaná softwarem BioWare (Kistler, Švýcarsko). Spolehlivost zabezpečuje vysoce senzitivní piezoelektrické snímače s frekvencí snímání 1000 Hz a délkou záznamu 4 s. Protože to byla poslední metodika v rámci testovaných úkolů (viz obrázek č. 4), sportovci provedli pouze kotníkové odrazy s předpětím (2 série po 10 opakováních), aby se lépe připravili na vertikální výskoky. Každý testovaný hráč realizoval tři výskoky (Zahálka et al., 2016) z každého typu vertikálního výskoku, mezi nimiž byla 20–30 s pauza (Wik et al., 2019). V rámci diagnostiky byly realizované 2 typy vertikálního výskoku v následujícím pořadí: CMJ, vertikální výskok z podřepu (z angl. squat jump,

SJ). Ze všech pokusů byly vybrány pro další analýzu pokusy s nejvyšší dosaženou vertikální výškou výskoku (Zahálka et al., 2016). Z hodnoticích parametrů jsme použili pro analýzu bilaterální rozdíl mezi VGRF vyprodukovanou během vzletové fáze u obou dolních končetin při CMJ a SJ (z angl. bilateral force deficit, BFD) (viz vzorec č. 1). U typu výskoku CMJ sportovec realizoval vertikální výskok, přičemž paže byly po celou dobu realizace výskoku fixované v bok (viz obrázek č. 11). U vertikálního výskoku SJ sportovec zaujal výchozí postavení (chodidla na šířku ramen, paže fixované v bok, pozice podřep při flexi kolenou 90 °, viz obrázek č. 12) po dobu 2–3 s před zahájením odrazové fáze výskoku (Boone et al., 2012). Každý testovaný pokus byl nejdříve hodnocen kvalitativním způsobem, přičemž se sledoval průběh dynamografické křivky s cílem posouzení absence excentrické fáze (snížení těžiště) při testu SJ. V případě, že u hráče došlo k další excentrické činnosti, pokus nebyl uznán a bylo možné ho jednou opakovat.



Obrázek č. 11: Letová fáze při vertikálním výskoku bez pomoci paží (CMJ)



Obrázek č. 12: Základní postavení při vertikálním výskoku z podřepu (SJ)

#### 4.4 Metody zpracování výzkumných údajů

Při zpracování evaluovaných dat byly použity deskriptivní a induktivní statistické postupy. Pro všechna data byla určena míra polohy (průměr) a míra variability (směrodatná odchylka).

- Ověření předpokladu normality dat bylo analyzováno Shapiro-Wilk testem.
- Ověření předpokladu homogenity rozptylů bylo analyzováno pomocí Levenova testu.
- Rozdíly vybraných parametrů (závislá proměnná) u sledovaných skupin rozdělených na základě rozlišovacích kritérií (nezávislá proměnná) byly zjišťovány pomocí analýzy rozptylu (One-way Anova).
- Pro ověření rozdílu vybraných parametrů u sledovaných skupin byl použitý nezávislý t-test, a to v případě přítomnosti pouze dvou skupin.
- Pro komparaci vybraných skupin (průměru) byl datový soubor zredukován v rámci odlehlých hodnot  $\pm 3$  SD pro jednotlivé metodiky (viz tabulka č. 9 a č. 16).

- Ancova byla využita pro kontrolu dalších proměnných jako vybraných kovariátů (druh sportu, chronologický věk, výkonnostní úroveň, pohlaví). Podmínky pro využití Ancovy byly ověřené pomocí následujících kroků: homogenita regresních směrnic (vizuální kontrola pomocí bodového grafu, tzv. scatter plot); normalita reziduí (Shapiro-Wilk test); homogenita variancí (Levenov test); lineární vztah mezi kovariátou a závislou proměnnou (Personův korelační koeficient).
- Mnohonásobné porovnávání sledovaných průměrů vybraných skupin bylo realizováno pomocí post-hoc analýzy (Bonferonniho test).
- Věcná významnost byla posuzována pomocí koeficientu „Partial Eta square“  $\eta_p^2$ , který vysvětluje podíl rozptylu sledovaného faktoru. Koeficient byl posouzen podle následujících kritérií (Sugimoto et al., 2018):  $< 0,010$  = malý;  $0,011–0,059$  = malý až střední;  $0,060–0,138$  = střední až velký a  $> 0,139$  = velký efekt.
- V případě rozdílu dvou skupin byl pro posouzení věcné významnosti využitý Cohenův koeficient „d“ (Cohen, 1992). Posouzení velikosti efektu jsme realizovali pomocí následujících kritérií:  $d \geq 0,8$  velký efekt,  $d \geq 0,5$  střední efekt a  $d \leq 0,2$  malý efekt.
- Korelační a diskriminační vztahy mezi závislými a nezávislými proměnnými byly analyzované pomocí korelační analýzy a lineární regrese.
- Pro ověření vztahu mezi sledovanými závislými proměnnými byl využit Personův korelační koeficient. Velikost korelace byla posuzována dle následujících kritérií:  $r \geq 0,9$  skoro ideální;  $r = 0,7-0,9$  velmi silná;  $r = 0,5-0,7$  silná;  $r = 0,3-0,5$  střední;  $r = 0,1-0,3$  malá;  $r \leq 0,1$  triviální (Cohen, 1988).
- Lineární regrese byla provedena metodou forward a přijetí do modelu bylo nastaveno na základě hladiny významnosti  $p < 0,05$  (vzorec č. 5)

$$y = a + b1^{X1} + b2^{X2} + b3^{X3} + b4^{X4} \text{ (vzorec č. 5)}$$

$x_1$  – druh sportu,  $x_2$  – chronologický věk,  $x_3$  – výkonnostní úroveň,  $x_4$  – pohlaví)

- Multikolinearita byla ověřena pomocí koeficientu VIF (variance inflation faktor); hodnoty větší než 10 by značily multikolinearitu a prediktor by byl vyloučen z analýzy (Alin, 2010).
- Pearson's chi-square test ( $\chi^2$ ) byl využitý pro posuzování výskytu asymetrie (NA  $< 10$  %, ZA =  $10–5$  %, VA  $> 15$  %) v závislosti na třídícím faktoru (druh sportu, věkové skupiny, výkonnostní úroveň, pohlaví). Velikost efektu byla

posuzovaná pomocí phi koeficientu ( $\phi$ ) následovně: 0,1; 0,3; 0,5 jako malý, střední a velký (Hopkins, 2000).

- Zamítnutí nulové hypotézy o rovnosti průměrů porovnávaných skupin bylo realizováno s rizikem  $p < 0,05$  pro všechny evaluované parametry.

Statistická analýza byla provedena pomocí softwaru IBM SPSS® (IBM Statistical Package for Social Science® v. 21, Chicago, IL, USA).

## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 Základní antropometrické ukazatele v rámci vybraných skupin

V tabulce č. 8 uvádíme parametry (průměr±SD) pro jednotlivé skupiny jako chronologický věk, tělesná výška (BH) a tělesná hmotnost (BW), % tělesného tuku (% BF) a tukuprostá hmota (FFM). Sportovci skupiny SY dosáhli významně nižších hodnot v parametrech BH, BW a FFM v komparaci se sportovci ASY a HY. Sportovci HY zaznamenali významně nižší hodnoty v % BF v porovnání se skupinou sportovců SY. Nejstarší věková skupina 16–18 let dosahovala významně vyšších hodnot u všech sledovaných parametrů v porovnání s mladšími věkovými skupinami s výjimkou parametru % BF. Významně nižších hodnot u parametru % BF jsme zjistili u nejstarší věkové skupiny 16–18 let v porovnání s nejmladší věkovou skupinou 10–12 let. Věková kategorie 13–15 let zaznamenala významně vyšší hodnoty u parametrů BH, BW a FFM v porovnání s věkovou kategorií 10–12 let. Sportovci sub-elitní skupiny dosahovali významně nižších hodnot v porovnání s elitní skupinou sportovců u parametrů věk a % BF. Skupina žen dosahovala významně nižších hodnot v parametrech BH, BW a FFM v porovnání se skupinou mužů. Skupina mužů dosahovala významně nižších hodnot u parametru % BF v porovnání s ženskou skupinou.



Tabulka č. 8: Základní antropometrické parametry (průměr ± SD) pro vybrané skupiny

Druh sportu	Symetrické (n = 157)	Asymetrické (n = 101)	Hybridní (n = 436)	F	p	$\eta_p^2$
Věk (let)	15,2 ± 1,9	15,3 ± 2,2	15,1 ± 2,1	0,24	0,79	0,00
Výška (cm)	167,6 ± 9,4 <sup>a,b</sup>	171,6 ± 12,2 <sup>a</sup>	170,3 ± 12,4 <sup>b</sup>	4,17	<b>0,02</b>	0,00
Hmotnost (kg)	55,8 ± 10,3 <sup>a,b</sup>	62,3 ± 14,2 <sup>a</sup>	60,3 ± 14,1 <sup>b</sup>	8,97	<b>0,00</b>	0,02
% tuku (%)	19,5 ± 5,1	20,7 ± 6,1 <sup>b</sup>	16,8 ± 4,7 <sup>b</sup>	33,33	<b>0,00</b>	0,01
FFM (kg)	44,8 ± 9,2 <sup>a,b</sup>	49,3 ± 11,5 <sup>a</sup>	49,7 ± 12,2 <sup>b</sup>	10,42	<b>0,00</b>	0,01
Věkové skupiny	10–12 let (n = 177)	13–15 let (n = 246)	16–18 let (n = 271)	F	p	$\eta_p^2$
Věk (let)	12,3 ± 0,9 <sup>a,b</sup>	15,0 ± 0,7 <sup>a,c</sup>	17,25 ± 0,9 <sup>b,c</sup>	1556,29	<b>0,00</b>	0,72
Výška (cm)	156,7 ± 9,9 <sup>a,b</sup>	171,9 ± 8,5 <sup>a,c</sup>	176 ± 8,1 <sup>b,c</sup>	286,67	<b>0,00</b>	0,14
Hmotnost (kg)	44,9 ± 9,4 <sup>a,b</sup>	60,2 ± 10,1 <sup>a,c</sup>	68,6 ± 9,7 <sup>b,c</sup>	316,19	<b>0,00</b>	0,16
% tuku (%)	18,5 ± 3,8 <sup>b</sup>	18,3 ± 5,2	17,3 ± 6,1 <sup>b</sup>	3,52	<b>0,00</b>	0,00
FFM (kg)	35,9 ± 6,8 <sup>a,b</sup>	48,9 ± 8,3 <sup>a,c</sup>	56,4 ± 9,4 <sup>b,c</sup>	314,10	<b>0,00</b>	0,17
Výkonnostní úroveň	Elitní (n = 387)	Sub-elitní (n = 307)		t	p	d
Věk (let)	15,4 ± 2,1	14,9 ± 2,2		2,93	<b>0,00</b>	0,23
Výška (cm)	170,5 ± 11,2	169,2 ± 12,5		1,52	0,13	0,11
Hmotnost (kg)	60,2 ± 12,9	58,7 ± 14,1		1,53	0,13	0,11
% tuku (%)	18,5 ± 5,6	17,4 ± 4,8		2,81	<b>0,01</b>	0,21
FFM (kg)	48,8 ± 11,3	48,2 ± 12,1		0,67	0,50	0,05
Pohlaví	Muži (n = 507)	Ženy (n = 187)		t	p	d
Věk (let)	15,1 ± 2,2	15,4 ± 1,8		-1,58	0,15	0,14
Výška (cm)	171,1 ± 12,6	166,5 ± 8,6		5,52	<b>0,00</b>	0,42
Hmotnost (kg)	60,3 ± 14,5	57,4 ± 9,9		3,04	<b>0,01</b>	0,23
% tuku (%)	15,7 ± 3,7	24,2 ± 3,6		-27,21	<b>0,00</b>	2,32
FFM (kg)	50,5 ± 12,4	43,2 ± 11,7		9,83	<b>0,00</b>	0,61

Legenda: FFM – aktivní tělesná hmota, F – F test, t – t test, <sup>a</sup> – významné rozdíly mezi 1. a 2. skupinou (p < 0,05), <sup>b</sup> – významné rozdíly mezi 1. a 3. skupinou (p < 0,05), <sup>c</sup> – významné rozdíly mezi 2. a 3. skupinou (p < 0,05),  $\eta_p^2$  – partial eta squared, d – velikost efektu

## 5.2 Objektivizace velikosti a směru bilaterální asymetrie u vybraných parametrů

### Velikost bilaterální asymetrie

Průměrné hodnoty bilaterálních asymetrií byly v rozmezí 1,40–19,13 %, kde nejnižší průměrné hodnoty dosahovali sportovci u parametru IPF u začáteční rychlosti při testu inverzní dynamiky běhu ( $1,40 \pm 1,09$  %). Naopak nejvyšší hodnoty pozorujeme u parametru APS, kde rozdíly mezi dolními končetinami vykazovaly asymetrie v průměru  $19,13 \pm 13,47$  % (viz tabulka č. 9).

Tabulka č. 9: Hodnoty bilaterálních asymetrií (%) u vybraných parametrů

Parametry	n	n/a	R	Mean	SD
MA	674	20	7,93	3,71	1,84
APS	658	36	47,02	19,13	13,47
Q:Q <sup>60</sup>	660	34	26,66	8,65	6,29
Q:Q <sup>180</sup>	656	38	26,37	8,16	6,23
Q:Q <sup>300</sup>	665	29	27,00	8,76	6,76
H:H <sup>60</sup>	661	33	32,75	10,12	7,54
H:H <sup>180</sup>	664	30	40,00	12,65	10,08
H:H <sup>300</sup>	660	34	44,44	14,22	10,43
BFD <sup>CMJ</sup>	658	36	21,29	7,45	5,17
BFD <sup>SJ</sup>	668	26	12,44	4,13	2,98
APF <sup>Z</sup>	647	47	17,00	4,71	4,23
APF <sup>K</sup>	641	53	11,00	3,64	2,70
IPF <sup>Z</sup>	647	47	4,00	1,40	1,09
IPF <sup>K</sup>	652	42	4,00	1,46	1,13
FI <sup>Z</sup>	646	50	26,00	6,71	6,52
FI <sup>K</sup>	646	50	18,00	4,86	4,63

Legenda: n – počet měření, n/a – počet vyřazených měření, R – variační rozpětí, SD – směrodatná odchylka, Mean – průměr, MA – morfologická asymetrie; APS – asymetrie posturální stability; Q:Q – bilaterální poměr extenzorů kolena, H:H – bilaterální poměr flexorů kolena; <sup>60, 180, 300</sup> – úhlová rychlost, BFD<sup>CMJ</sup> – bilaterální asymetrie u vertikálního výskoku bez pomoci paží; BFD<sup>SJ</sup> – bilaterální asymetrie u vertikálního výskoku z podřepu; APF – maximální síla při odrazové fázi běhu; IPF – maximální síla při dopadové fázi běhu; FI – silový impulz; <sup>Z</sup> – začáteční rychlost; <sup>K</sup> – konečná rychlost

Na základě rozmezí velikosti hodnot jsme interpretovali asymetrie následovně: < 10 % – NA; 10–15 % – ZA; nad 15 % – VA (viz kapitola 4.3.1 – metodologická část). Nejvyšší počet hráčů (91,4 % z celkového počtu) s NA pozorujeme u parametru BDF<sup>SJ</sup>, kde pouze u 46 hráčů (6,6 % z celkového počtu) byla identifikována ZA a 12 hráčů (2 % z celkového počtu) s VA. Naopak u parametru bilaterální asymetrie flexorů kolena při nejvyšší úhlové rychlosti (H:H<sup>300</sup>) pouze 38 % z celkového počtu hráčů (n = 264) bylo identifikováno s asymetrií NA. ZA vykazovalo 18 % z celkového počtu hráčů (n = 125) a 43,9 % hráčů (n = 305) dosahovalo VA (viz tabulka č. 10).

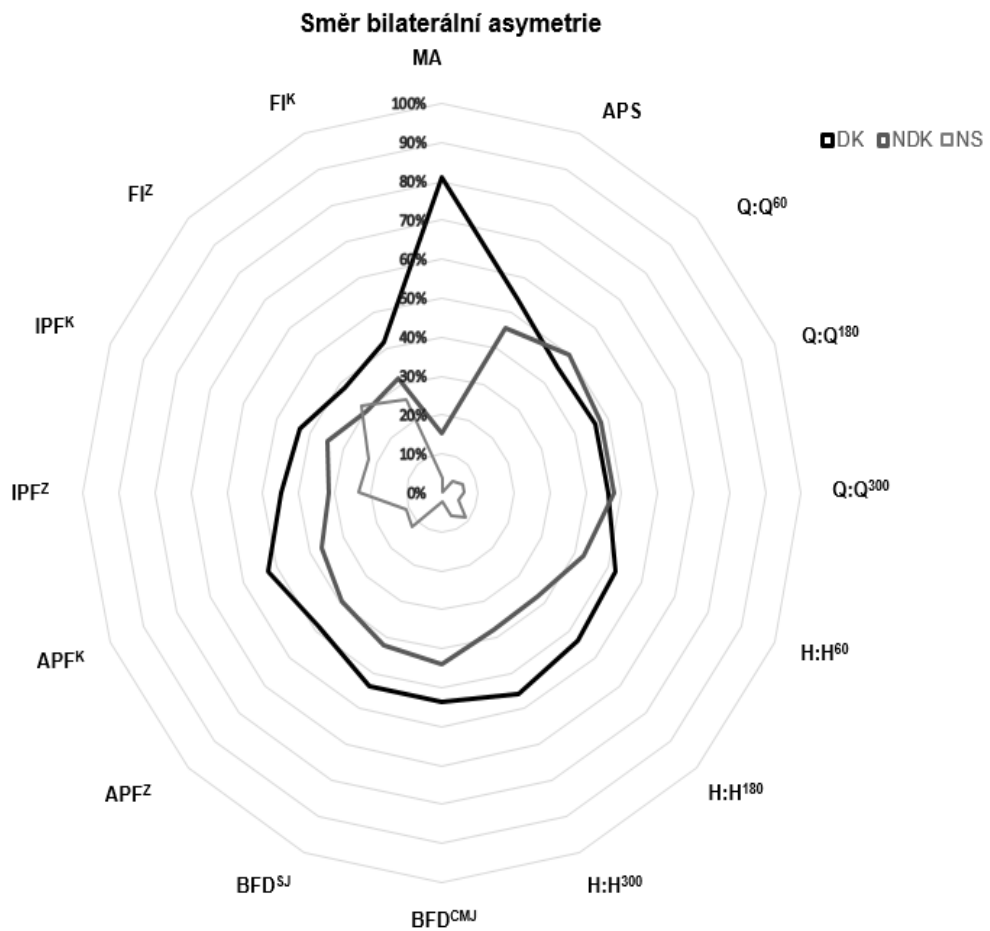
Tabulka č. 10: Distribuce jednotlivých asymetrií na základě velikosti u parametrů izokinetické svalové síly a inverzní dynamiky dolních končetin při vertikálním výskoku

Velikost asymetrie	< 10 %		10–15 %		> 15 %		
	Parametry	n	%	n	%	n	%
Q:Q <sup>60</sup>		429	61,8	112	16,1	153	22,0
Q:Q <sup>180</sup>		435	62,7	122	17,6	137	19,7
Q:Q <sup>300</sup>		420	60,5	126	18,2	148	21,3
H:H <sup>60</sup>		369	53,2	129	18,6	196	28,2
H:H <sup>180</sup>		319	46,0	95	13,7	280	40,3
H:H <sup>300</sup>		264	38,0	125	18,0	305	43,9
BDF <sup>CMJ</sup>		463	66,7	130	18,7	101	14,6
BDF <sup>SJ</sup>		634	91,4	46	6,6	14	2,0

Legenda: n – počet hráčů, % – procentuální zastoupení hráčů, Q:Q – bilaterální poměr extenzorů kolena, H:H – bilaterální poměr flexorů kolena, <sup>60, 180, 300</sup> – úhlová rychlost, BDF<sup>CMJ</sup> – bilaterální asymetrie u vertikálního výskoku bez pomoci paží, BDF<sup>SJ</sup> – bilaterální asymetrie u vertikálního výskoku z podřepu

## Směrovost bilaterální asymetrie

Směrovost k DK pozorujeme v 13 případech v rozmezí 38,3–81,0 %. Nejvyšší převahu pozorujeme u MA, kde až 81 % všech sportovců (DK - 562 vs. NDK – 105; NS - 27) prokázalo směr k DK. U parametru Q:Q u všech úhlových rychlostí vykazovalo více sportovců směr k NDK (50–47,7 % vs. 45,7–46,4 % ve prospěch NDK) (viz graf č. 1). U probandů, kteří dosáhli stejných hodnot v rámci jednotlivého testu mezi dolními končetinami („0“ rozdíl), směrovost nebyla hodnocena (NS).

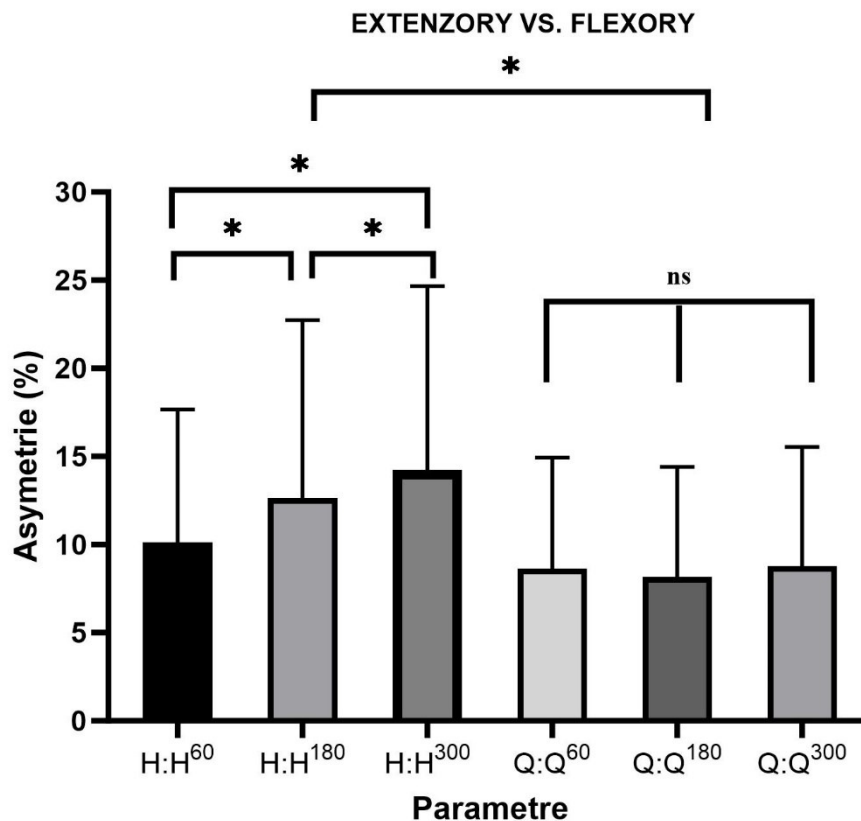


Legenda: DK – směr asymetrie k dominantní končetině; NDK – směr asymetrie k nedominantní dolní končetině; NS – neurčený směr; MA – morfologická asymetrie; APS – asymetrie posturální stability; Q:Q – bilaterální poměr extenzorů kolena; H:H – bilaterální poměr flexorů kolena; <sup>60</sup>, <sup>180</sup>, <sup>300</sup> – úhlová rychlost; BFD<sup>CMJ</sup> – bilaterální asymetrie u vertikálního výskoku bez pomoci paží; BFD<sup>SJ</sup> – bilaterální asymetrie u vertikálního výskoku z podřepu; APF – maximální síla při odrazové fázi běhu; IPF – maximální síla při dopadové fázi běhu; FI – silový impulz; <sup>Z</sup> – začáteční rychlost; <sup>K</sup> – konečná rychlost

Graf č. 1: Směr asymetrie u jednotlivých parametřů bilaterální asymetrie

## Vliv úhlové rychlosti na hodnoty bilaterální asymetrie u extenzorů a flexorů kolena

Úhlová rychlost neprokázala významný vliv na hodnoty bilaterální asymetrie u Q:Q ( $F = 1,61$ ,  $p > 0,05$ ), naopak u H:H byl prokázán významný vliv úhlové rychlosti na hodnoty bilaterálních asymetrií ( $F = 31,67$ ,  $p < 0,05$ ). Významné vyšší hodnoty byli zjištěny u nejvyšší úhlové rychlosti (H:H<sup>300</sup>) v porovnání se střední úhlovou rychlostí s malým efektem ( $14,22 \pm 10,43$  % vs.  $12,65 \pm 10,08$  %,  $p < 0,01$ ,  $d = 0,15$ ) a střední velikostí efektu v porovnání s H:H<sup>60</sup> ( $14,22 \pm 10,43$  % vs.  $10,12 \pm 7,54$  %,  $p < 0,05$ ,  $d = 0,45$ ). Významné vyšší hodnoty byli zjištěny u H:H<sup>180</sup> v porovnání s H:H<sup>60</sup> s malým efektem ( $12,65 \pm 10,08$  % vs.  $10,12 \pm 7,54$  %,  $p < 0,05$ ,  $d = 0,19$ ). Z hlediska porovnání bilaterálních asymetrií vzhledem ke svalové skupině (Q:Q vs. H:H) byly zjištěné významné vyšší hodnoty ( $p < 0,05$ ) se střední velikostí efektu ( $d = 0,21–0,63$ ) u flexorů kolene při všech úhlových rychlostech (viz graf č. 2)

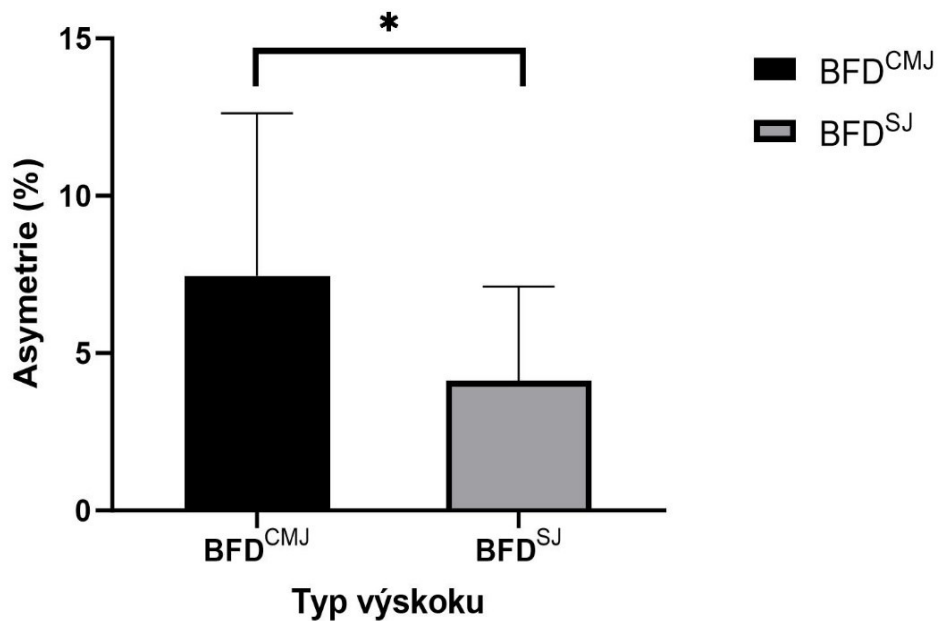


Legenda – Q:Q – bilaterální poměr extenzorů kolena, H:H – bilaterální poměr flexorů kolena, <sup>60, 180, 300</sup> – úhlová rychlost, ns – nevýznamné rozdíly ( $p < 0,05$ )

Graf č. 2: Bilaterální asymetrie flexorů a extenzorů kolena

## Vliv typu výskoku na hodnoty bilaterální asymetrie mezi vyprodukovanou maximální silou při odrazu

Typ výskoku prokázal významný vliv na hodnoty bilaterální asymetrie, kde u CMJ byli zjištěné významné vyšší hodnoty se střední až velkou velikostí efektu v porovnání s výskokem SJ ( $t = 205,66$ ,  $p < 0,05$ ,  $d = 0,78$ ) (viz graf č. 3).

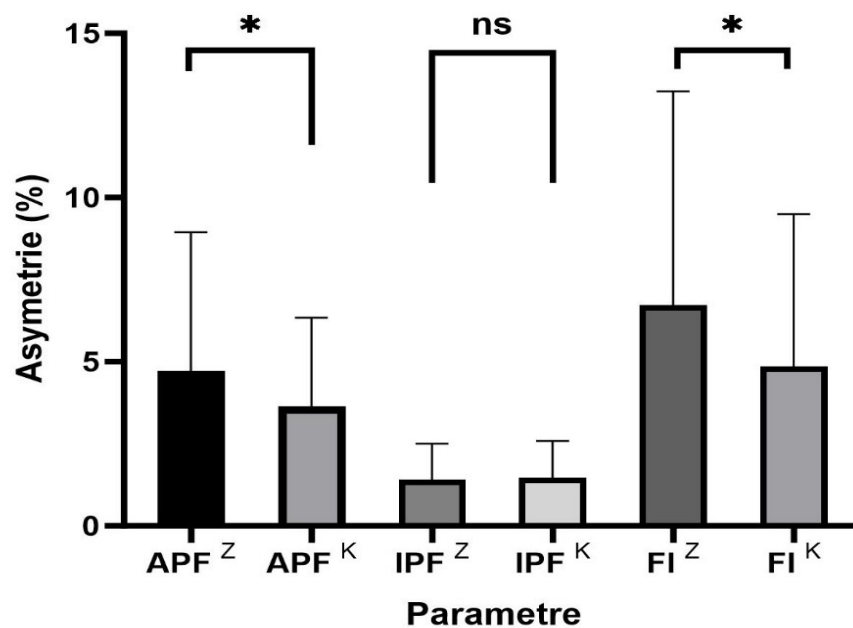


Legenda: BFD<sup>CMJ</sup> – bilaterální asymetrie u vertikálního výskoku bez pomoci paží; BFD<sup>SJ</sup> – bilaterální asymetrie u vertikálního výskoku z podřepu

Graf č. 3: Bilaterální asymetrie mezi vyprodukovanou maximální silou během vertikálního výskoku CMJ a SJ

## Vliv lokomoční rychlosti na hodnoty bilaterálních asymetrií u inverzní dynamiky běhu

Rozdílná rychlost pohybu prokázala významný vliv u parametru APF ( $t = 5,43$ ,  $p < 0,05$ ) a FI ( $t = 5,88$ ,  $p < 0,05$ ), kde významné vyšší hodnoty se střední velikostí efektu byly zjištěny u začáteční rychlosti v porovnání s konečnou rychlostí (APF -  $4,72 \pm 4,23$  % vs.  $3,64 \pm 2,71$  %,  $d = 0,42$ ; FI -  $6,71 \pm 6,52$  % vs.  $4,86 \pm 4,63$  %,  $d = 0,32$ )- (viz graf č. 4).



Legenda: \* - významné rozdíly ( $p < 0,05$ ), ns - nevýznamné rozdíly ( $p > 0,05$ ), APF - maximální síla při odrazové fázi běhu; IPF - maximální síla při dopadové fázi běhu; FI<sup>Z</sup> - silový impulz; <sup>Z</sup> - začáteční rychlost; <sup>K</sup> - konečná rychlost

Graf č. 4: Bilaterální asymetrie při testu inverzní dynamiky běhu různé rychlosti pohybu

## 5.3 Komparace bilaterálních asymetrií vzhledem k nezávislým proměnným

### 5.3.1 Komparace bilaterálních asymetrií v reflexi druhu sportu

Analýza dat prokázala signifikantní efekt nezávislé proměnné druhu sportu na úroveň velikosti asymetrie u parametrů H:H<sup>180</sup> ( $F = 13,62$ ;  $p < 0,05$ ,  $\eta_p^2 = 0,04$ ) a BFD<sup>SJ</sup> ( $F = 3,59$ ;  $p < 0,05$ ,  $\eta_p^2 = 0,01$ ) s malým až středním efektem nezávisle na věku, výkonnostní úrovni a pohlaví (viz tabulka č. 11). Signifikantně nižších hodnot u parametru H:H<sup>180</sup> dosáhly sportovci ASY v porovnání se skupinou SY a HY. Naopak signifikantně vyšších hodnot dosáhly sportovci ASY v porovnání se skupinou SY u parametru BFD<sup>SJ</sup>.

Tabulka č. 11: Hodnoty bilaterálních asymetrií (%) vzhledem k druhu sportu

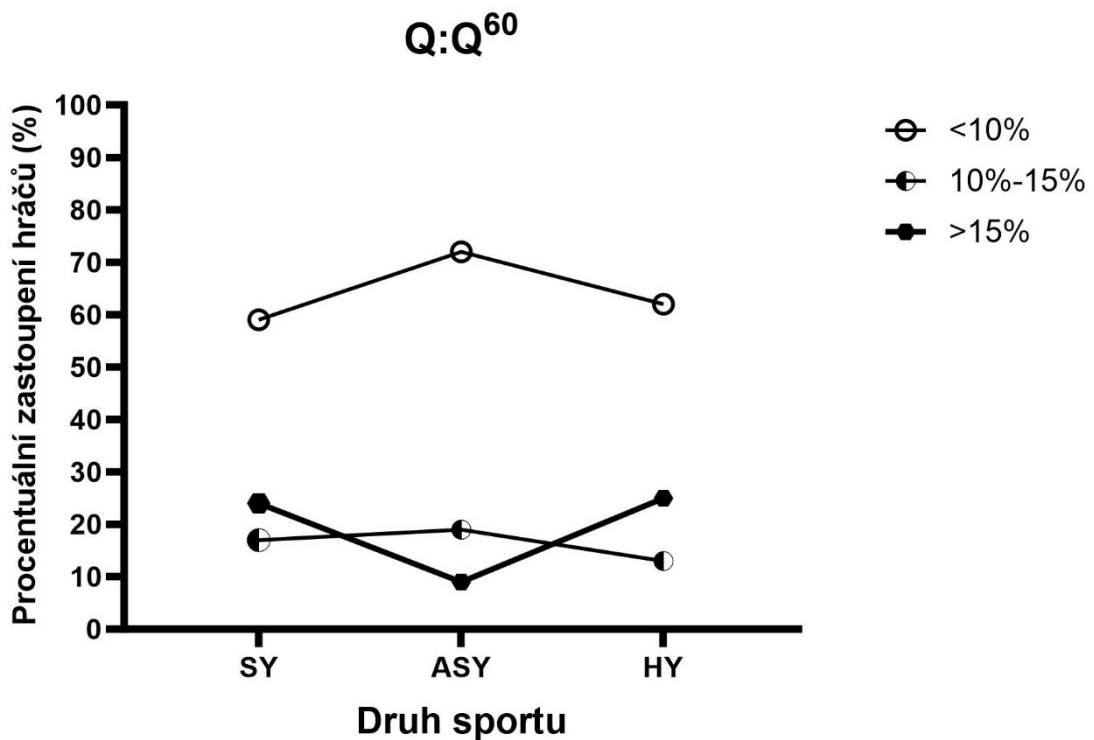
Typ asymetrie	Parametry	Symetrické (n = 157)	Asymetrické (n = 101)	Hybridní (n = 436)	ANCOVA		
					F	p	$\eta_p^2$
Morfologie	MA	3,61 ± 1,78	3,88 ± 2,13	3,54 ± 1,66	0,00	0,99	0,00
Posturální stabilita	APS	18,24 ± 12,94	1,12 ± 14,90	18,54 ± 12,74	0,75	0,47	0,00
Izokinetická svalová síla	Q:Q <sup>60</sup>	8,54 ± 5,91	7,04 ± 5,06	8,36 ± 5,88	2,98	0,06	0,01
	Q:Q <sup>180</sup>	7,59 ± 5,64	6,97 ± 6,64	7,83 ± 5,57	1,35	0,25	0,00
	Q:Q <sup>300</sup>	7,55 ± 6,36	7,54 ± 6,37	8,17 ± 6,27	1,37	0,25	0,00
	H:H <sup>60</sup>	10,27 ± 8,13	9,82 ± 7,14	9,31 ± 6,77	0,52	0,59	0,00
	H:H <sup>180</sup>	13,07 ± 9,70 <sup>a</sup>	8,18 ± 9,84 <sup>a,c</sup>	12,42 ± 8,89 <sup>c</sup>	13,62	<b>0,00</b>	0,04
	H:H <sup>300</sup>	14,86 ± 9,81	13,72 ± 9,82	13,50 ± 10,13	1,04	0,35	0,00
Vertikální výskok	BFD <sup>CMJ</sup>	7,55 ± 4,57	7,23 ± 4,99	7,28 ± 5,12	0,24	0,78	0,00
	BFD <sup>SJ</sup>	3,29 ± 2,64 <sup>a</sup>	4,70 ± 3,34 <sup>a</sup>	3,97 ± 2,99	3,59	<b>0,03</b>	0,01
Inverzní dynamika běhu	APF <sup>Z</sup>	4,57 ± 4,40	4,30 ± 3,68	4,52 ± 4,20	2,57	0,07	0,00
	APF <sup>K</sup>	3,73 ± 2,94	3,24 ± 2,59	3,43 ± 2,45	1,03	0,35	0,00
	IPF <sup>Z</sup>	1,26 ± 1,08	1,40 ± 1,02	1,34 ± 1,07	0,64	0,52	0,00
	IPF <sup>K</sup>	1,24 ± 1,10	1,44 ± 1,06	1,45 ± 1,09	0,46	0,63	0,00
	FI <sup>Z</sup>	7,02 ± 6,80	7,12 ± 6,74	6,51 ± 6,38	0,53	0,58	0,00
	FI <sup>K</sup>	4,61 ± 4,14	5,52 ± 4,86	4,80 ± 4,75	1,18	0,30	0,00

Legenda: <sup>a</sup> – významné rozdíly mezi 1. a 2. skupinou ( $p < 0,05$ ); <sup>c</sup> – významné rozdíly mezi 2. a 3. skupinou ( $p < 0,05$ ); MA – morfologická asymetrie; APS – asymetrie posturální stability; Q:Q – bilaterální poměr extenzorů kolena; H:H – bilaterální poměr flexorů kolena; <sup>60, 180, 300</sup> – úhlová rychlost; BFD<sup>CMJ</sup> – bilaterální asymetrie u vertikálního výskoku bez pomoci paží; BFD<sup>SJ</sup> – bilaterální asymetrie u vertikálního výskoku z podřepu; APF – maximální síla při odrazové fázi běhu; IPF – maximální síla při dopadové fázi běhu; FI – silový impulz; <sup>Z</sup> – začáteční rychlost; <sup>K</sup> – konečná rychlost;  $\eta_p^2$  – partial eta square



## Distribuce asymetrií charakterizovaných na základě velikosti v reflexi jednotlivých druhů sportu

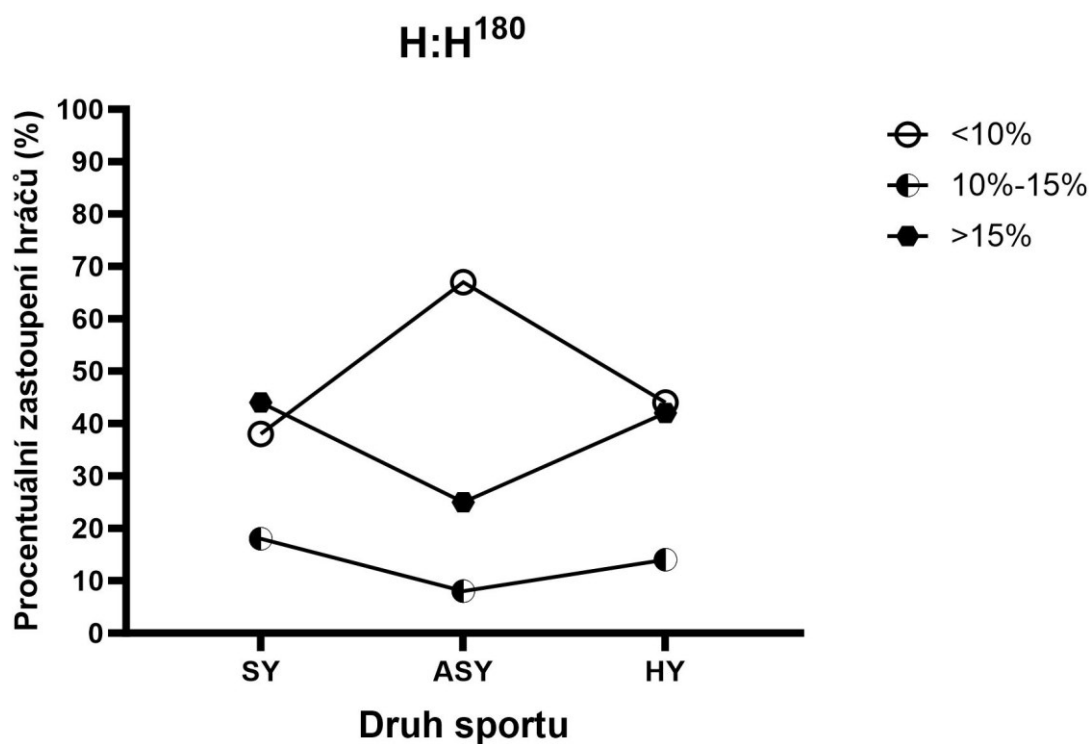
Analýza dat prokázala signifikantní efekt nezávislé proměnné druh sportu na distribuci asymetrií (NA, ZA, VA) u parametru  $Q:Q^{60}$  ( $\chi^2 = 13,89$ ,  $p < 0,05$ ). Významně nižší zastoupení VA ( $> 15\%$ ) bylo zjištěno u skupiny ASY (9 %) v porovnání se sportovci HY (24 %) a SY (25 %) (viz graf č. 5). Velikost efektu byla charakterizovaná jako malá ( $\phi = 0,14$ ).



Legenda: SY – sporty s převládajícím symetrickým pohybovým charakterem; ASY – sporty s převládajícím asymetrickým pohybovým charakterem; HY – sporty, u kterých se vyskytuje smíšený pohybový charakter tzv. hybridní.

Graf č. 5: Distribuce asymetrií z hlediska velikosti u parametru  $Q:Q^{60}$

Analýza dat prokázala signifikantní efekt nezávislé proměnné druh sportu na distribuci asymetrií (NA, ZA, VA) u parametru  $H:H^{180}$  ( $\chi^2 = 24,47$ ,  $p < 0,05$ ). Významně nižší zastoupení VA (>15 %) bylo zjištěno u skupiny sportovců ASY (25 %) v porovnání se sportovci skupiny SY (45 %) a HY (42 %) (viz graf č. 6). Velikost efektu byla charakterizovaná jako malá ( $\varphi = 0,19$ ).



Legenda: SY – sporty s převládajícím symetrickým pohybovým charakterem; ASY – sporty s převládajícím asymetrickým pohybovým charakterem; HY – sporty, u kterých se vyskytuje smíšený pohybový charakter tzv. hybridní.

Graf č. 6: Distribuce asymetrií z hlediska velikosti u parametru  $H:H^{180}$

### 5.3.2 Komparace bilaterálních asymetrií v reflexi věkové kategorie

Analýza dat prokázala signifikantní efekt nezávislé proměnné věková kategorie na velikost bilaterální asymetrie u parametrů Q:Q<sup>180</sup> (F = 5,72, p < 0,05), Q:Q<sup>300</sup> (F = 7,04, p < 0,05), APF<sup>Z</sup> (F = 9,33, p < 0,05), APF<sup>K</sup> (F = 7,34, p < 0,05) s malým až středním efektem ( $\eta_p^2 = 0,02-0,03$ ) (viz tabulka č. 12). Signifikantně nižší hodnoty u parametru Q:Q<sup>180</sup> zaznamenali sportovci nejstarší věkové kategorie v porovnání s kategorií 10–12 let. Signifikantně nižších hodnot u parametru APF<sup>Z</sup> zaznamenali sportovci nejstarší věkové kategorie v porovnání s kategorií 13–15 let a 10–12 let. Signifikantně vyšších hodnot u parametru APF<sup>K</sup> a Q:Q<sup>300</sup> zaznamenali sportovci nejmladší věkové kategorie v porovnání s věkovou kategorií 13–15 let a 16–18 let.

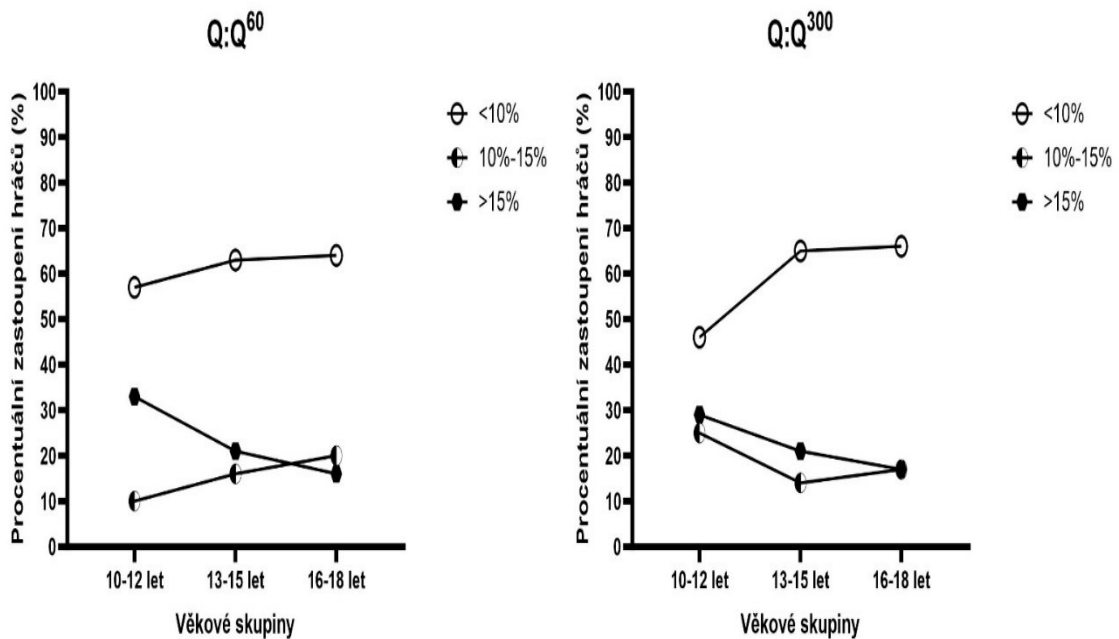
Tabulka č. 12: Hodnoty bilaterální asymetrie (%) v reflexi věkových skupin

Typ asymetrie	Parametry	10–12 let (n = 177)	13–15 let (n = 246)	16–18 let (n = 271)	ANCOVA		
					F	p	$\eta_p^2$
Morfologie	MA	3,92 ± 1,86	3,70 ± 1,83	3,59 ± 1,84	0,27	0,18	0,00
Posturální stabilita	APS	19,86 ± 13,64	19,13 ± 13,75	18,66 ± 13,13	0,45	0,67	0,00
Izokinetická svalová síla	Q:Q <sup>60</sup>	9,37 ± 7,13	8,61 ± 6,12	8,24 ± 5,87	1,39	0,20	0,00
	Q:Q <sup>180</sup>	9,53 ± 6,62 <sup>b</sup>	8,09 ± 6,11	7,39 ± 5,99 <sup>b</sup>	5,72	0,00	0,02
	Q:Q <sup>300</sup>	10,41 ± 7,07 <sup>a,b</sup>	8,43 ± 6,75 <sup>a</sup>	8,01 ± 6,41 <sup>b</sup>	7,04	0,00	0,02
	H:H <sup>60</sup>	10,75 ± 7,69	9,37 ± 7,32	10,40 ± 7,60	1,89	0,14	0,01
	H:H <sup>180</sup>	13,57 ± 11,11	12,68 ± 9,69	12,02 ± 9,70	0,78	0,29	0,00
	H:H <sup>300</sup>	14,92 ± 10,76	13,89 ± 10,24	14,05 ± 10,38	0,76	0,58	0,00
Vertikální výskok	BFD <sup>CMJ</sup>	8,06 ± 5,07	7,66 ± 5,52	6,90 ± 4,85	3,05	0,06	0,01
	BFD <sup>SJ</sup>	4,68 ± 4,01	4,00 ± 2,93	4,02 ± 2,91	2,41	0,06	0,01
Inverzní dynamika běhu	APF <sup>Z</sup>	5,09 ± 4,58 <sup>b</sup>	5,39 ± 4,41 <sup>c</sup>	3,83 ± 3,63 <sup>b,c</sup>	9,33	0,00	0,03
	APF <sup>K</sup>	4,29 ± 3,06 <sup>a,b</sup>	3,53 ± 2,71 <sup>a</sup>	3,29 ± 2,33 <sup>b</sup>	7,34	0,00	0,02
	IPF <sup>Z</sup>	1,33 ± 1,01	1,46 ± 1,01	1,40 ± 1,11	0,99	0,69	0,00
	IPF <sup>K</sup>	1,45 ± 1,15	1,54 ± 1,17	1,38 ± 1,07	1,56	0,66	0,00
	FI <sup>Z</sup>	6,21 ± 5,92	7,02 ± 7,17	6,78 ± 6,28	0,77	0,46	0,00
	FI <sup>K</sup>	5,42 ± 4,94	4,69 ± 4,48	4,67 ± 4,55	1,58	0,20	0,00

Legenda: <sup>a</sup> – významné rozdíly mezi 1. a 2. skupinou (p < 0,05); <sup>b</sup> – významné rozdíly mezi 1. a 3. skupinou (p < 0,05); <sup>c</sup> – významné rozdíly mezi 2. a 3. skupinou (p < 0,05); MA – morfologická asymetrie; APS – asymetrie posturální stability; Q:Q – bilaterální poměr extenzorů kolena; H:H – bilaterální poměr flexorů kolena<sup>60, 180, 300</sup> – úhlová rychlost; BFD<sup>CMJ</sup> – bilaterální asymetrie u vertikálního výskoku bez pomoci paží; BFD<sup>SJ</sup> – bilaterální asymetrie u vertikálního výskoku z podřepu; APF – maximální síla při odrazové fázi běhu; IPF – maximální síla při dopadové fázi běhu; FI – silový impulz; <sup>Z</sup> – začáteční rychlost; <sup>K</sup> – konečná rychlost;  $\eta_p^2$  – partial eta square

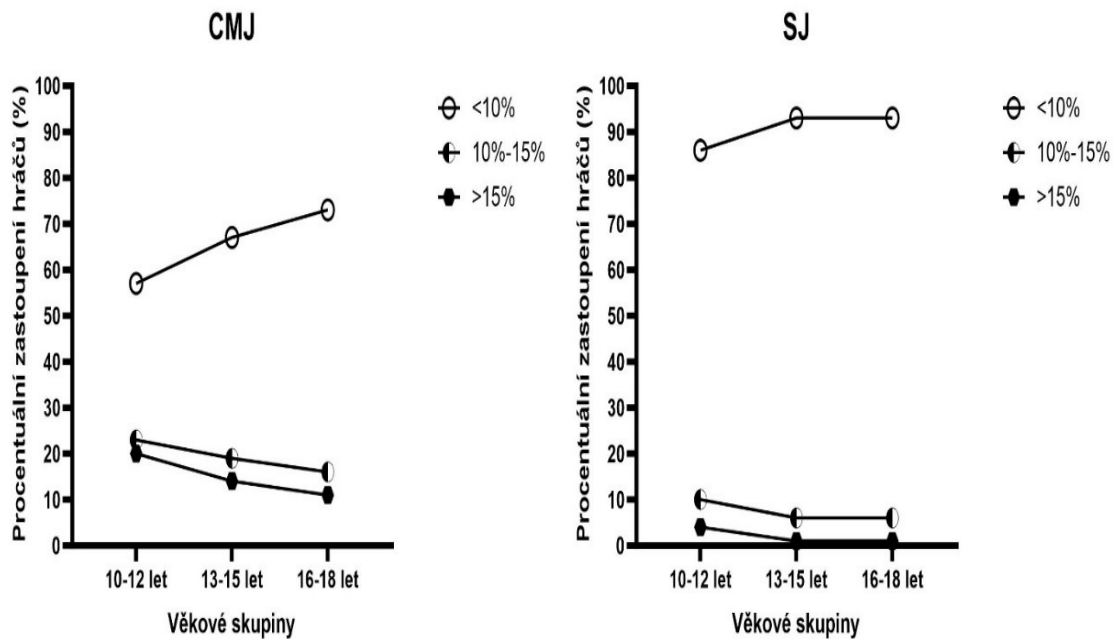
## Distribuce asymetrií charakterizovaných na základě velikosti v reflexi jednotlivých věkových kategorií

Analýza dat prokázala signifikantní efekt nezávislé proměnné věková kategorie na distribuci asymetrií (NA, ZA, VA) u parametru  $Q:Q^{60}$  ( $\chi^2 = 21,72$ ,  $p < 0,05$ ) a  $Q:Q^{300}$  ( $\chi^2 = 23,12$ ,  $p < 0,05$ ). Vyšší zastoupení VA bylo zjištěno v obou případech u nejmladší skupiny 10–12 let (29–33 %) v porovnání s kategorií 13–15 let (21 %) a nejstarší skupinou 16–18 let (16–17 %) (viz graf č. 7). Velikost efektu byla charakterizovaná jako malá ( $\varphi = 0,18$ ).



Graf č. 7: Distribuce asymetrií z hlediska velikosti u parametru  $Q:Q^{60}$  a  $Q:Q^{300}$

Analýza dat prokázala signifikantní efekt nezávislé proměnné věková kategorie na distribuci asymetrií (NA, ZA, VA) u parametru  $BFD^{CMJ}$  ( $\chi^2 = 13,08$ ,  $p < 0,05$ ) a  $BFD^{SJ}$  ( $\chi^2 = 11,34$ ,  $p < 0,05$ ). Vyšší zastoupení VA bylo zjištěno u nejmladší skupiny 10–12 let ( $BFD^{CMJ} = 20\%$ ,  $BFD^{SJ} = 5\%$ ) v porovnání s kategorií 13–15 let ( $BFD^{CMJ} = 14\%$ ,  $BFD^{SJ} = 1\%$ ) a 16–18 let ( $BFD^{CMJ} = 11\%$ ,  $BFD^{SJ} = 1\%$ ) (viz graf č. 8). Velikost efektu byla charakterizovaná pro oba parametry jako malá ( $BFD^{CMJ} = 0,14$ ,  $BFD^{SJ} = 0,13$ ).



Graf č. 8: Distribuce asymetrií z hlediska velikosti u parametru  $BFD^{CMJ}$  a  $BFD^{SJ}$

### 5.3.3 Komparace bilaterální asymetrie vzhledem k výkonnostní úrovni

Analýza dat prokázala signifikantní efekt nezávislé proměnné výkonnostní úroveň na velikost bilaterální asymetrie u parametru H:H<sup>180</sup> ( $t = -1,93$ ,  $p < 0,05$ ). Signifikantně nižších hodnot s malým efektem ( $d = 0,15$ ) zaznamenali sportovci elitní skupiny v porovnání se sub-elitní skupinou nezávisle na věku, druhu sportu či pohlaví (viz tabulka č. 13). U parametru Q:Q<sup>180</sup> signifikantně nižších hodnot dosáhli sportovci elitní skupiny v porovnání se sub-elitní skupinou sportovců. Při kontrole vlivu věku výsledky nebyli statisticky významné ( $F = 0,03$ ,  $p > 0,05$ ).

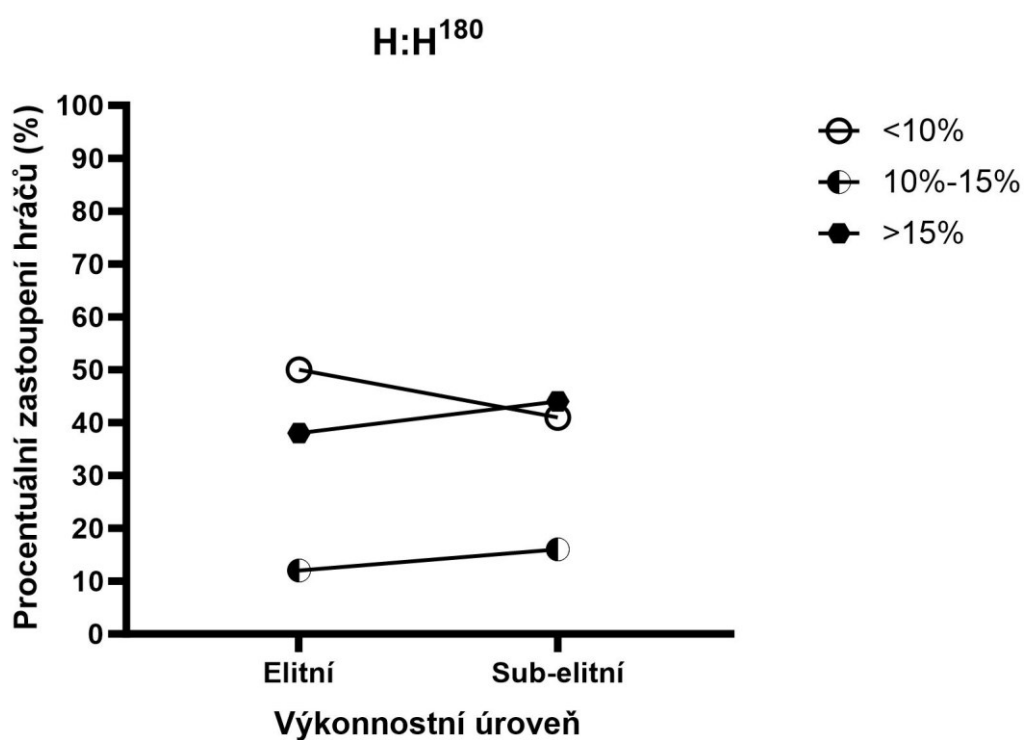
Tabulka č. 13: Hodnoty bilaterální asymetrie (%) vzhledem k výkonnostní úrovni

Typ asymetrie	Parametry (%)	Elitní (n = 387)	Sub-elitní (n = 307)	ANCOVA		
				t	p	d
Morfologie	MA	3,70 ± 1,90	3,72 ± 1,78	-0,18	0,85	0,01
Posturální stabilita	APS	19,31 ± 13,83	18,90 ± 13,00	0,37	0,71	0,03
Izometrická svalová síla	Q:Q <sup>60</sup>	8,20 ± 6,01	9,22 ± 6,59	-2,05	0,05	0,16
	Q:Q <sup>180</sup>	7,65 ± 6,16	8,82 ± 6,28	-2,39*	0,02	0,18
	Q:Q <sup>300</sup>	8,44 ± 6,65	9,19 ± 6,88	-1,41	0,15	0,11
	H:H <sup>60</sup>	10,15 ± 7,70	10,09 ± 7,33	0,09	0,92	0,01
	H:H <sup>180</sup>	11,99 ± 9,82	13,51 ± 10,36	-1,93	<b>0,04</b>	0,15
	H:H <sup>300</sup>	13,98 ± 10,26	14,53 ± 10,66	-0,67	0,51	0,05
Vertikální výskok	BFD <sup>CMJ</sup>	7,58 ± 5,20	7,29 ± 5,13	0,70	0,48	0,05
	BFD <sup>SJ</sup>	4,11 ± 3,40	4,26 ± 3,01	-0,59	0,55	0,04
Inverzní dynamika běhu	APF <sup>Z</sup>	4,50 ± 3,97	4,97 ± 4,50	-1,41	0,16	0,11
	APF <sup>K</sup>	3,67 ± 2,67	3,59 ± 2,73	0,37	0,71	0,03
	IPF <sup>Z</sup>	1,37 ± 1,09	1,45 ± 1,10	-0,88	0,37	0,07
	IPF <sup>K</sup>	1,42 ± 1,13	1,51 ± 1,13	-0,90	0,36	0,07
	FI <sup>Z</sup>	6,97 ± 6,43	6,40 ± 6,24	1,10	0,26	0,08
	FI <sup>K</sup>	4,75 ± 4,54	5,01 ± 4,76	-0,70	0,48	0,05

Legenda: \* – významný vliv nezávislé proměnné chronologický věk jako kovarianční proměnné (Ancova), MA – morfologická asymetrie; APS – asymetrie posturální stability; Q:Q – bilaterální poměr extenzorů kolena; H:H – bilaterální poměr flexorů kolena; <sup>60, 180, 300</sup> – úhlová rychlost; BFD<sup>CMJ</sup> – bilaterální asymetrie u vertikálního výskoku bez pomoci paží; BFD<sup>SJ</sup> – bilaterální asymetrie u vertikálního výskoku z podřepu; APF – maximální síla při odrazové fázi běhu; IPF – maximální síla při dopadové fázi běhu; FI – silový impuls; <sup>Z</sup> – začáteční rychlost; <sup>K</sup> – konečná rychlost; d – velikost efektu

## Distribuce asymetrií charakterizovaných na základě velikosti v reflexi odlišné výkonnostní úrovně

Analýza dat prokázala signifikantní efekt nezávislé proměnné výkonnostní úrovně na distribuci asymetrií (NA, ZA, VA) u parametru  $H:H^{180}$  ( $\chi^2 = 6,31$ ,  $p < 0,05$ ). Vyšší zastoupení VA pozorujeme u sub-elitní skupiny (44 %) v porovnání s elitní skupinou sportovců (38 %) (viz graf č. 9). Velikost efektu byla charakterizovaná jako malá ( $\phi = 0,10$ ).



Graf č. 9: Distribuce asymetrií z hlediska velikosti u parametru  $H:H^{180}$

### 5.3.4 Komparace bilaterálních asymetrií vzhledem k pohlaví

Analýza dat prokázala signifikantní efekt nezávislé proměnné pohlaví na úroveň velikosti asymetrie u parametru  $APF^Z$  ( $t = -2,16$ ,  $p < 0,05$ ),  $H:H^{300}$  ( $t = -2,08$ ,  $p < 0,05$ ),  $BFD^{SJ}$  ( $t = 2,30$ ,  $p < 0,05$ ),  $IPF^K$  ( $t = 2,09$ ,  $p < 0,05$ ) s malým efektem ( $d = 0,18-0,20$ ). Při kontrole vlivu nezávislé proměnné druh sportu výsledky nebyly statisticky významné u parametru  $H:H^{300}$  ( $F = 2,64$ ,  $p > 0,05$ ),  $BFD^{SJ}$  ( $F = 2,26$ ,  $p < 0,05$ ),  $IPF^K$  ( $F = 0,90$ ,  $p < 0,05$ ). Mužská populace dosáhla signifikantně nižších hodnot v porovnání s ženskou skupinou u parametru  $APF^Z$  nezávisle na věku, druhu sportu a výkonnostní úrovni sportovců (viz tabulka č. 14).

Tabulka č. 14: Hodnoty bilaterální asymetrie (%) vzhledem k pohlaví

Typ asymetrie	Parametry (%)	Muži (n = 507)	Ženy (n = 187)	ANCOVA		
				t	p	d
Morfologie	MA	3,67 ± 1,77	3,82 ± 2,03	-0,84	0,37	0,03
Posturální stabilita	APS	19,00 ± 13,21	19,47 ± 14,17	0,39	0,69	0,03
Izokinetická svalová síla	Q:Q <sup>60</sup>	8,64 ± 6,33	8,67 ± 6,19	-0,06	0,95	0,00
	Q:Q <sup>180</sup>	8,10 ± 6,17	8,32 ± 6,42	-0,40	0,68	0,01
	Q:Q <sup>300</sup>	8,73 ± 6,73	8,87 ± 6,64	-0,24	0,81	0,01
	H:H <sup>60</sup>	10,15 ± 7,51	10,05 ± 7,62	0,14	0,88	0,00
	H:H <sup>180</sup>	12,75 ± 10,26	12,37 ± 9,57	0,42	0,66	0,04
	H:H <sup>300</sup>	13,71 ± 10,28	15,61 ± 10,72	-2,08*	0,04	0,18
Vertikální výskok	$BFD^{CMJ}$	7,47 ± 5,22	7,41 ± 5,05	0,13	0,89	0,01
	$BFD^{SJ}$	4,36 ± 3,29	3,71 ± 3,03	2,30*	0,02	0,20
Inverzní dynamika běhu	$APF^Z$	4,50 ± 4,03	5,32 ± 4,70	-2,16	<b>0,04</b>	0,18
	$APF^K$	3,58 ± 2,65	3,80 ± 2,83	-0,93	0,35	0,08
	$IPF^Z$	1,44 ± 1,09	1,31 ± 1,10	1,31	0,18	0,11
	$IPF^K$	1,52 ± 1,12	1,31 ± 1,12	2,09*	0,04	0,18
	$FI^Z$	6,72 ± 6,58	6,71 ± 6,39	0,02	0,97	0,00
	$FI^K$	5,00 ± 4,71	4,51 ± 4,43	1,22	0,22	0,10

Legenda: \* – významný vliv nezávislé proměnné druh sportu jako kovarianční proměnné (Ancova), MA – morfologická asymetrie; APS – asymetrie posturální stability; Q:Q – bilaterální poměr extenzorů kolena; H:H – bilaterální poměr flexorů kolena; <sup>60, 180, 300</sup> – úhlová rychlost;  $BFD^{CMJ}$  – bilaterální asymetrie u vertikálního výskoku bez pomoci paží;  $BFD^{SJ}$  – bilaterální asymetrie u vertikálního výskoku z podřepu;  $APF$  – maximální síla při odrazové fázi běhu;  $IPF$  – maximální síla při dopadové fázi běhu;  $FI$  – silový impulz; <sup>Z</sup> – začáteční rychlost; <sup>K</sup> – konečná rychlost; d – velikost efektu



### 5.3.5 Lineární regrese vysvětlující vliv nezávislých proměnných na hodnoty bilaterálních asymetrií ve vybraném testu

V tabulce č. 15 uvádíme výsledky vícenásobné lineární regrese, kde můžeme pozorovat, jak jednotlivé faktory (nezávislé proměnné) vysvětlují hodnoty bilaterálních asymetrií (závislé proměnné) v modelu  $y^{\text{závislá proměnná}} = a^{\text{konstanta}} \pm x^{1-4} \text{ nezávislá proměnná}$ . Pro výpočet konkrétní hodnoty bilaterální asymetrie je potřeba doplnit hodnoty za nezávislé proměnné následovně:  $x^1$  – sport = 1 – SY, 2 – ASY, 3 – HY;  $x^2$  – chronologický věk = kalendářní věk vypočítaný k datu testování;  $x^3$  – výkonnostní úroveň = 1 – elitní, 2 – sub-elitní;  $x^4$  – pohlaví = 1 – muž, 2 – žena. Výsledný model byl analyzován jako významný v 10 případech ( $p < 0,05$ ). Vliv sportu nebyl ani v jednom případě klasifikován jako významný prediktor bilaterální asymetrie ( $p > 0,05$ ). Naopak chronologický věk se vyskytoval jako významný prediktor v 5 případech a dosahoval záporných hodnot (nestandardizovaná  $\beta = -0,08$  až  $-0,45$ ), což indikuje, že se stoupajícím věkem klesají hodnoty bilaterální asymetrie. Také nezávislá proměnná pohlaví byla analyzovaná jako významný prediktor v 5 případech a dosahovala u 2 závislých proměnných kladné hodnoty (H:H<sup>300</sup>; APF<sup>Z</sup>) což indikuje zvýšení hodnot v případě, že se jedná o ženu (1 – muž, 2 – žena) a naopak snížení v případě záporných hodnot, když se jedná o muže (BFD<sup>CMJ</sup>; BFD<sup>SJ</sup>; IPF<sup>K</sup>). Výkonnostní úroveň ovlivňovala pouze hodnoty závislé proměnné Q:Q<sup>180</sup> (nestandardizovaná  $\beta = 0,96$ ), kde v případě sub-elitní skupiny by hodnoty byly vyšší v porovnání s elitní skupinou (1 – elitní, 2 – sub-elitní).

Tabulka č. 15: Vícenásobná lineární regrese pro hodnoty bilaterální asymetrie

Typ asymetrie	Závislá proměnná	$y$ závislá proměnná = $a$ konstanta $\pm x^{1-4}$ nezávislá proměnná	$R^2$	SE	F	p
Morfologie	MA	$4,918 - 0,079x^2$	0,01	1,84	5,619	0,02
Posturální stabilita	APS	non-sig	N	N	N	N
Izokinetická svalová síla	Q:Q <sup>60</sup>	$7,199 + 1,011x^3$	0,01	6,27	4,21	0,04
	Q:Q <sup>180</sup>	$13,92 - 0,467x^2 + 0,960x^3$	0,03	6,14	11,28	0,00
	Q:Q <sup>300</sup>	$15,687 - 0,454x^2$	0,02	6,69	13,71	0,00
	H:H <sup>60</sup>	non-sig	N	N	N	N
	H:H <sup>180</sup>	non-sig	N	N	N	N
	H:H <sup>300</sup>	$11,811 + 1,901x^4$	0,01	10,40	4,34	0,04
Vertikální výskok	BFD <sup>CMJ</sup>	$10,687 - 0,211x^4$	0,01	5,15	4,81	0,03
	BFD <sup>SJ</sup>	$5,008 - 0,648x^4$	0,01	3,22	5,33	0,02
Inverzní dynamika běhu	APF <sup>Z</sup>	$7,119 - 0,233x^2 + 0,897x^4$	0,02	4,19	6,78	0,00
	APF <sup>K</sup>	$6,534 - 0,190x^2$	0,02	2,67	14,89	0,00
	IPF <sup>Z</sup>	non-sig	N	N	N	N
	IPF <sup>K</sup>	$1,727 - 0,207x^4$	0,01	1,12	4,37	0,04
	FI <sup>Z</sup>	non-sig	N	N	N	N
	FI <sup>K</sup>	non-sig	N	N	N	N

Legenda: N – neuvedeno z důvodu nevýznamnosti modelu,  $x^1$  – sport,  $x^2$  – chronologický věk;  $x^3$  – výkonnostní úroveň;  $x^4$  – pohlaví; MA – morfologická asymetrie; APS – asymetrie posturální stability; Q:Q – bilaterální poměr extenzorů kolena; H:H – bilaterální poměr flexorů kolena; <sup>60, 180, 300</sup> – úhlová rychlost; BFD<sup>CMJ</sup> – bilaterální asymetrie u vertikálního výskoku bez pomoci paží; BFD<sup>SJ</sup> – bilaterální asymetrie u vertikálního výskoku z podřepu; APF – maximální síla při odrazové fázi běhu; IPF – maximální síla při dopadové fázi běhu; FI – silový impulz; <sup>Z</sup> – začáteční rychlost, <sup>K</sup> – konečná rychlost;  $R^2$  – R square; SE – standardní chyba průměru; F – F test

## 5.4 Objektivizace velikosti unilaterální asymetrie pomocí H:Q poměru

V tabulce č. 15 jsou uvedené hodnoty UA vyjádřené pomocí H:Q poměru (vyšší H:Q poměr = nižší hodnoty UA) ve všech úhlových rychlostech pro celý analyzovaný vzorek bez rozdílu druhu sportu, věku, výkonnostní úrovně či pohlaví. Nejvyšší průměrné hodnoty pozorujeme u parametrů HQD<sup>180</sup> (56,88 ± 9,86 %), naopak nejnižší hodnoty byly zaznamenány u parametru HQND<sup>300</sup> (53,96 ± 10,37 %).

Největší rozsah variačního rozpětí pozorujeme při vysoké úhlové rychlosti (~ 51 %) v porovnání se střední (~ 48 %) a nejpomalejší při úhlové rychlosti (~ 37 %) (viz tabulka č. 16).

Úhlová rychlost neprokázala významný vliv na hodnoty unilaterální asymetrie pro obě dolní končetiny. Signifikantně vyšší hodnoty se střední velikostí efektu (d = 0,20–0,22) byly zjištěné u všech úhlových rychlostí na DK v porovnání s NDK.

Tabulka č. 16: Hodnoty unilaterální asymetrie vyjádřené pomocí H:Q poměru (%)

Parametry	n	Min	Max	R	Mean	SD	DK vs. NDK			
							t-test	p	d	efekt
HQD <sup>60</sup>	664	38,54	74,54	36,00	55,76	7,81	4,01	< 0,05	0,22	Střední
HQND <sup>60</sup>	664	35,52	73,91	38,39	54,05	7,70				
HQD <sup>180</sup>	662	33,69	81,13	47,44	56,88	9,86	3,71	< 0,05	0,20	Střední
HQND <sup>180</sup>	662	30,88	78,94	48,06	54,90	9,56				
HQD <sup>300</sup>	662	31,11	82,14	51,03	56,21	10,77	3,85	< 0,05	0,21	Střední
HQND <sup>300</sup>	662	28,57	79,79	51,22	53,96	10,37				

Legenda: n – počet objektů, min – minimum; max – maximum; R – variační rozpětí, SD – směrodatná odchylka; p – pravděpodobnost; d – velikost efektu; DK – dominantní dolní končetina, NDK – nedominantní dolní končetina, HQD – unilaterální poměr hamstring/kvadriceps na dominantní dolní končetině; HQND – unilaterální poměr hamstring/kvadriceps na nedominantní dolní končetině; <sup>60,180,300</sup> – úhlová rychlost pohybu, d – velikost efektu

## 5.5 Komparace unilaterální asymetrie vzhledem k nezávislým proměnným

### 5.5.1 Komparace unilaterální asymetrie vzhledem k druhu sportu

Analýza dat prokázala signifikantní efekt nezávislé proměnné druh sportu na úroveň velikosti unilaterální asymetrie u všech sledovaných parametrů unilaterální asymetrie s malou až střední velikostí efektu ( $F = 3,82-16,04$ ,  $p < 0,05$ ,  $\eta_p^2 = 0,01-0,05$ ). Signifikantně vyšších hodnot H:Q poměru u všech uhlových rychlostech pohybu zaznamenaly sportovci HY v porovnání se skupinou ASY a SY. Signifikantně nižších hodnot u parametru HQND<sup>180</sup>, HQND<sup>300</sup>, HQD<sup>180</sup>, HQD<sup>300</sup> zaznamenaly sportovci ASY v porovnání se skupinou SY.

Tabulka č. 17: Rozdílnost hodnot H:Q poměru (%) vzhledem k jednotlivým druhům sportu

Parametre	SY (n = 157)	ASY (n = 101)	HY (n = 436)	ANCOVA		
				F	p	$\eta_p^2$
HQD <sup>60</sup>	52,19 ± 7,15 <sup>b</sup>	52,67 ± 7,19 <sup>c</sup>	57,61 ± 7,17 <sup>b,c</sup>	16,04	<b>0,00</b>	0,05
HQD <sup>180</sup>	54,65 ± 8,59 <sup>a,b</sup>	51,29 ± 9,28 <sup>a,c</sup>	58,85 ± 8,40 <sup>b,c</sup>	15,54	<b>0,00</b>	0,05
HQD <sup>300</sup>	55,26 ± 9,9 <sup>a,b</sup>	51,85 ± 10,69 <sup>a,c</sup>	57,98 ± 9,67 <sup>b,c</sup>	9,99	<b>0,00</b>	0,03
HQND <sup>60</sup>	52,01 ± 7,35 <sup>b</sup>	51,04 ± 7,34 <sup>c</sup>	55,02 ± 7,13 <sup>b,c</sup>	3,82	<b>0,00</b>	0,01
HQND <sup>180</sup>	53,49 ± 9,06 <sup>a,b</sup>	49,79 ± 8,37 <sup>a,c</sup>	56,51 ± 8,21 <sup>b,c</sup>	9,90	<b>0,00</b>	0,03
HQND <sup>300</sup>	52,27 ± 9,88 <sup>a,b</sup>	48,88 ± 10,2 <sup>a,c</sup>	55,39 ± 9,38 <sup>b,c</sup>	8,53	<b>0,00</b>	0,03

Legenda: <sup>a</sup> – významné rozdíly mezi 1. a 2. skupinou ( $p < 0,05$ ); <sup>b</sup> – významné rozdíly mezi 1. a 3. skupinou ( $p < 0,05$ ); <sup>c</sup> – významné rozdíly mezi 2. a 3. skupinou ( $p < 0,05$ ); SY – sporty s převládajícím symetrickým pohybovým charakterem; ASY – sporty s převládajícím asymetrickým pohybovým charakterem; HY – sporty, u kterých se vyskytuje smíšený pohybový charakter, tzv. hybridní; HQD – unilaterální poměr hamstring/kvadriceps na dominantní dolní končetině; HQND – unilaterální poměr hamstring/kvadriceps na nedominantní dolní končetině; <sup>60,180,300</sup> – úhlová rychlost pohybu; F – F-test,  $\eta_p^2$  – partial eta square

### 5.5.2 Komparace unilaterální asymetrie vzhledem k věkové kategorii

Analýza dat prokázala signifikantní efekt nezávislé proměnné věková kategorie na úroveň velikosti unilaterální asymetrie u parametru HQND<sup>60</sup> ( $F = 4,23$ ,  $p < 0,05$ ) a HQD<sup>300</sup> ( $F = 3,49$ ,  $p < 0,05$ ) s malou velikostí efektu ( $\eta_p^2 = 0,01$ ). Významně nižší hodnoty u parametru HQD<sup>300</sup> byly zjištěny u věkové skupiny 13–15 let v porovnání s nejstarší skupinou 16–18 let. Signifikantně nižší hodnoty u parametru HQND<sup>60</sup> byly prokázány u věkové skupiny 10–12 let v porovnání s nejstarší skupinou 16–18 let (viz tabulka č. 18).

Tabulka č. 18: Rozdílnost hodnot H:Q poměru (%) vzhledem k jednotlivým věkovým kategoriím

Parametry	10–12 let (n = 177)	13–15 let (n = 246)	16–18 let (n = 271)	ANCOVA		
				F	p	$\eta_p^2$
HQD <sup>60</sup>	55,39 ± 8,21	54,87 ± 7,45	56,79 ± 7,79	2,97	0,06	0,01
HQD <sup>180</sup>	57,46 ± 10,61	55,77 ± 9,99	57,53 ± 9,18	0,93	0,39	0,00
HQD <sup>300</sup>	56,18 ± 11,41	54,56 ± 10,77 <sup>c</sup>	57,71 ± 10,15 <sup>c</sup>	3,49	<b>0,03</b>	0,01
HQND <sup>60</sup>	53,15 ± 7,99 <sup>b</sup>	53,59 ± 7,60	55,03 ± 7,64 <sup>b</sup>	4,23	<b>0,01</b>	0,01
HQND <sup>180</sup>	56,13 ± 9,97	53,61 ± 9,31	55,27 ± 9,41	2,37	0,09	0,01
HQND <sup>300</sup>	54,24 ± 11,13	52,61 ± 9,99	54,99 ± 10,11	2,18	0,11	0,01

Legenda: <sup>b</sup> – významné rozdíly mezi 1. a 3. skupinou ( $p < 0,05$ ); <sup>c</sup> – významné rozdíly mezi 2. a 3. skupinou ( $p < 0,05$ ), HQD – unilaterální poměr hamstring/kvadriceps na dominantní dolní končetině; HQND – unilaterální poměr hamstring/kvadriceps na nedominantní dolní končetině; <sup>60,180,300</sup> – úhlová rychlost pohybu; F – F-test,  $\eta_p^2$  – partial eta square.

### 5.5.3 Komparace unilaterální asymetrie vzhledem k výkonnostní úrovni

Analýza dat prokázala signifikantní efekt nezávislé proměnné výkonnostní úroveň na velikost unilaterální asymetrie u parametru HQD<sup>60</sup> ( $t = -2,72$ ,  $p < 0,05$ ), HQD<sup>180</sup> ( $t = -1,97$ ,  $p < 0,05$ ), HQND<sup>60</sup> ( $t = -2,18$ ,  $p < 0,05$ ) a HQND<sup>180</sup> ( $t = -2,45$ ,  $p < 0,05$ ) s malou až střední velikostí efektu ( $d = 0,15-0,21$ ). Při kontrole vlivu nezávislé proměnné druh sportu výsledky nebyli statisticky významné ani u jednoho parametru: HQD<sup>60</sup> ( $F = 2,04$ ,  $p > 0,05$ ), HQD<sup>180</sup> ( $F = 2,08$ ,  $p > 0,05$ ), HQND<sup>60</sup> ( $F = 0,80$ ,  $p > 0,05$ ) a HQND<sup>180</sup> ( $F = 0,34$ ,  $p > 0,05$ ).

Tabulka č. 19: Rozdílnost hodnot H:Q poměru (%) vzhledem k rozdílné výkonnostní úrovni

Parametry	Elitní (n = 387)	Sub-elitní (n = 307)	ANCOVA		
			t-test	p	d
HQD <sup>60</sup>	55,02 ± 8,01	56,68 ± 7,47	-2,72*	0,01	0,21
HQD <sup>180</sup>	53,21 ± 10,10	54,73 ± 9,50	-1,97*	0,48	0,15
HQD <sup>300</sup>	55,81 ± 10,97	56,73 ± 10,49	-1,08	0,11	0,08
HQND <sup>60</sup>	53,46 ± 7,63	54,77 ± 7,75	-2,18*	0,03	0,17
HQND <sup>180</sup>	54,09 ± 9,75	55,92 ± 9,23	-2,45*	0,01	0,19
HQND <sup>300</sup>	53,35 ± 10,89	54,76 ± 9,61	-1,74	0,80	0,13

Legenda: \* – významný vliv nezávislé proměnné druh sportu a pohlaví jako kovarianční proměnná (Ancova), HQD – unilaterální poměr hamstring/kvadriceps na dominantní dolní končetině; HQND – unilaterální poměr hamstring/kvadriceps na nedominantní dolní končetině; <sup>60,180,300</sup> – úhlová rychlost pohybu; d- velikost efektu

### 5.5.4 Komparace unilaterální asymetrie vzhledem k pohlaví

Analyza dat prokázala signifikantní efekt nezávislé proměnné pohlaví na úroveň velikosti unilaterální asymetrie u všech sledovaných parametrů se střední velikostí efektu ( $t = 4,90-7,69$ ,  $p < 0,05$ ,  $d = 0,42-0,68$ ). Signifikantně vyšších hodnot H:Q poměru u všech úhlových rychlostí pro obě končetiny byli zjištěni u skupiny mužů v porovnání s ženskou skupinou nezávisle na druhu sportu, věku a výkonnostní úrovni sportovců (viz tabulka č. 20).

Tabulka č. 20: Rozdílnost hodnot H:Q poměru (průměr  $\pm$  SD, %) vzhledem k pohlaví

Parametry	Muži (n = 507)	Ženy (n = 187)	ANCOVA		
			t-test	p	d
HQD <sup>60</sup>	57,11 $\pm$ 7,61	52,05 $\pm$ 7,17	7,69	0,00	0,68
HQD <sup>180</sup>	58,42 $\pm$ 9,70	52,71 $\pm$ 9,07	6,79	0,00	0,60
HQD <sup>300</sup>	57,66 $\pm$ 10,41	52,29 $\pm$ 10,78	5,80	0,00	0,51
HQND <sup>60</sup>	55,14 $\pm$ 7,54	51,17 $\pm$ 7,40	6,08	0,00	0,53
HQND <sup>180</sup>	55,99 $\pm$ 9,25	51,97 $\pm$ 9,78	4,90	0,01	0,42
HQND <sup>300</sup>	55,25 $\pm$ 10,11	50,47 $\pm$ 10,32	5,36	0,00	0,46

Legenda: HQD – unilaterální poměr hamstring/kvadriceps na dominantní dolní končetině; HQND – unilaterální poměr hamstring/kvadriceps na nedominantní dolní končetině; <sup>60,180,300</sup> – úhlová rychlost pohybu, d – velikost efektu

### 5.5.5 Lineární regrese vysvětlující vliv nezávislých proměnných na hodnoty unilaterálních asymetrií ve vybraném testu

V tabulce č. 21 uvádíme výsledky vícenásobné lineární regrese, kde můžeme analyzovat, jak jednotlivé faktory (nezávislé proměnné) vysvětlují jednotlivé hodnoty unilaterálních asymetrií (závislé proměnné) v modelu  $y^{\text{závislá proměnná}} = a^{\text{konstanta}} \pm x^{1-4}$   $^{\text{nezávislá proměnná}}$ . Pro výpočet konkrétní hodnoty unilaterální asymetrie je potřeba doplnit hodnoty za nezávislé proměnné následovně:  $x^1$  – druh sportu = 1 – SY, 2 – ASY, 3 – HY;  $x^2$  – chronologický věk = kalendářní věk vypočítaný k datu testování;  $x^3$  – výkonnostní úroveň = 1 – elitní, 2 – sub-elitní;  $x^4$  – pohlaví = 1 – muž, 2 – žena. Výsledný model byl analyzován jako významný ve všech sledovaných parametrech ( $p < 0,05$ ) a vysvětloval variabilitu v rozmezí 4,2–12,3 % ( $R^2 = 0,04-0,12$ ). Vliv nezávislé proměnné pohlaví byl analyzován jako významný u všech parametrů se zápornou hodnotou (nestandardizovaná  $\beta = -3,15$  až  $-4,78$ ), což značí, že v případě ženské populace nacházíme hodnoty unilaterální asymetrie vyšší v porovnání s mužskou skupinou. Z pohledu druhu sportu, který vystupuje jako významný prediktor ve 4 případech (HQD<sup>60</sup>; HQD<sup>180</sup>; HQD<sup>300</sup>;

HQND<sup>180</sup>), pozorujeme kladné hodnoty, což svědčí o tom, že sporty hybridního a asymetrického charakteru dosahují nižší hodnoty unilaterální asymetrie v porovnání se symetrickou skupinou (1 – symetrické, 2 – asymetrické, 3 – hybridní). Chronologický věk prokázal významný vliv u unilaterální asymetrie měřené nejpomalejší úhlovou rychlostí pro dominantní, resp. nedominantní dolní končetinu (HQD<sup>60</sup>; HQND<sup>60</sup>). Kladné hodnoty naznačují snižování unilaterální asymetrie se stoupajícím chronologickým věkem. Nezávislá proměnná výkonnostní úroveň neprokázala významný vliv ani u jednoho parametru unilaterální asymetrie.

Tabulka č. 21: Vícenásobná lineární regrese pro hodnoty unilaterální asymetrie

Závislá proměnná	Výsledný model Konstanta ± x nezávislá proměnná	R <sup>2</sup>	SE	F	p
HQD <sup>60</sup>	50,217 + 1,979 x <sup>1</sup> – 3,487 x <sup>4</sup> + 0,342 x <sup>2</sup>	0,12	7,32	31,95	0,00
HQD <sup>180</sup>	58,572 – 4,339 x <sup>4</sup> + 1,599 x <sup>1</sup>	0,08	9,47	28,59	0,00
HQD <sup>300</sup>	57,785 – 4,060 x <sup>4</sup> + 1,506 x <sup>1</sup>	0,06	10,46	20,79	0,00
HQND <sup>60</sup>	53,661 – 4,048 x <sup>4</sup> + 0,364 x <sup>2</sup>	0,06	7,47	22,13	0,00
HQND <sup>180</sup>	56,401 – 3,151 x <sup>4</sup> + 1,047 x <sup>1</sup>	0,04	9,37	14,37	0,00
HQND <sup>300</sup>	60,029 – 4,777 x <sup>4</sup>	0,04	10,16	28,76	0,00

Legenda: x<sup>1</sup> – druh sportu; x<sup>2</sup> – chronologický věk; x<sup>3</sup> – výkonnostní úroveň; x<sup>4</sup> – pohlaví; HQD – unilaterální poměr hamstring/kvadriceps na dominantní dolní končetině; HQND – unilaterální poměr hamstring/kvadriceps na nedominantní dolní končetině; <sup>60,180,300</sup> – úhlová rychlost; R<sup>2</sup> – R square; SE – standardní chyba průměru, F – F-test, p – probability

## 5.6 Korelace mezi vybranými parametry unilaterální a bilaterální asymetrie

V tabulce č. 22 uvádíme korelační matici závislých proměnných (bilaterální a unilaterální asymetrie). Pro analýzu bylo vybráno všech 22 indikátorů bilaterální ( $n = 16$ ) a unilaterální ( $n = 8$ ) asymetrie. Korelační analýza prokázala 45 korelací jako významných ( $p < 0,05$ ) a velikost vztahu byla triviální až velmi silná ( $r = 0,06–0,75$ ) (viz tabulka č. 22, označené hvězdičkou). Významná korelace ( $p < 0,05$ ) s velmi silnou mírou asociace ( $r = 0,70–0,90$ , viz tabulka č. 22, barva červená) byla analyzovaná při UA na NDK (HQND<sup>180</sup> vs. HQND<sup>300</sup>,  $r = 0,75$ ,  $p < 0,05$ ) a DK (HQD<sup>180</sup> vs. HQD<sup>300</sup>,  $r = 0,71$ ). Signifikantní korelace ( $p < 0,05$ ) se silnou mírou asociace ( $r = 0,50–0,70$ , viz tabulka č. 22, barva zelená) byla prokázána při UA na DK (HQD<sup>180</sup> vs. HQD<sup>60</sup>,  $r = 0,58$ ,  $p < 0,05$ ), NDK (HQND<sup>60</sup> vs. HQND<sup>180</sup>,  $r = 0,62$ ; HQND<sup>60</sup> vs. HQND<sup>300</sup>,  $r = 0,55$ ,  $p < 0,05$ ) a také mezi DK a NDK při střední uhlové rychlosti pohybu (HQD<sup>180</sup> vs. HQND<sup>180</sup>,  $r = 0,51$ ,  $p < 0,05$ ). Významná korelace ( $p < 0,05$ ) se střední mírou asociace ( $r = 0,30 – 0,50$ , viz tabulka č. 22, barva modrá) byla zjištěna ve 13 případech v rozmezí korelačního koeficientu  $r = 0,30–0,49$ . Je nutné doplnit, že se jednalo o vztah asymetrií stejného druhu (měřeno stejnou metodikou). Další korelace dosahovaly pouze nízkou míru asociace ( $r < 0,30$ , viz tabulka č. 22, barva šedá).



Tabulka č. 22: Korelační matice mezi parametry bilaterální a unilaterální asymetrie

	MA	APS	Q:Q <sup>60</sup>	Q:Q <sup>180</sup>	Q:Q <sup>300</sup>	H:H <sup>60</sup>	HH <sup>180</sup>	HH <sup>300</sup>	BFD <sup>CMJ</sup>	BFD <sup>SJ</sup>	APF <sup>Z</sup>	APF <sup>K</sup>	IPF <sup>Z</sup>	IPF <sup>K</sup>	FI <sup>Z</sup>	FI <sup>K</sup>	HQD <sup>60</sup>	HQD <sup>180</sup>	HQD <sup>300</sup>	HQND <sup>60</sup>	HQND <sup>180</sup>	HQND <sup>300</sup>
MA	1,00																					
APS	0,02	1,00																				
Q:Q <sup>60</sup>	0,01	-0,03	1,00																			
Q:Q <sup>180</sup>	-0,03	0,06	0,49*	1,00																		
Q:Q <sup>300</sup>	-0,01	0,02	0,30*	0,46*	1,00																	
H:H <sup>60</sup>	-0,04	0,00	0,16*	0,11*	0,07*	1,00																
HH <sup>180</sup>	-0,02	-0,05	0,11*	0,13*	0,16*	0,23*	1,00															
HH <sup>300</sup>	-0,07	0,01	0,02	0,02	0,14*	0,13*	0,32*	1,00														
BFD <sup>CMJ</sup>	0,09*	0,00	0,05	0,03	0,08*	0,02	-0,06	-0,03	1,00													
BFD <sup>SJ</sup>	0,01	0,04	0,06	0,06	0,07	0,07	0,05	0,08*	0,17*	1,00												
APF <sup>Z</sup>	-0,01	-0,04	0,01	0,01	0,03	0,10*	-0,01	0,06	0,01	-0,05	1,00											
APF <sup>K</sup>	0,02	0,03	0,08*	0,00	-0,02	0,06*	0,05	-0,03	0,06	0,05	0,19*	1,00										
IPF <sup>Z</sup>	0,04	0,02	0,09*	0,03	0,06	-0,01	-0,06	0,00	0,13*	0,08*	0,03	0,03	1,00									
IPF <sup>K</sup>	0,00	0,04	0,08*	0,06	-0,02	-0,01	0,08*	-0,04	0,12*	0,09*	0,00	0,06	0,45*	1,00								
FI <sup>Z</sup>	0,01	0,00	0,01	-0,03	-0,05	-0,01	-0,08	0,01	-0,03	-0,05	0,06	0,01	0,01	-0,03	1,00							
FI <sup>K</sup>	-0,02	0,00	-0,03	0,03	0,00	-0,04	-0,02	-0,04	-0,05	-0,07	-0,04	-0,09	-0,17	-0,20	0,25*	1,00						
HQD <sup>60</sup>	0,01	0,00	0,10	0,02	0,04	-0,04	-0,04	-0,03	-0,01	0,03	-0,08	-0,05	0,11	0,05	0,03	0,03	1,00					
HQD <sup>180</sup>	-0,03	0,01	0,01	-0,02	-0,05	-0,01	-0,11	-0,15	0,01	-0,04	-0,03	0,00	0,08	0,05	0,01	0,03	0,58*	1,00				
HQD <sup>300</sup>	-0,04	0,02	0,01	-0,04	-0,02	-0,02	-0,10	-0,11	0,01	-0,03	-0,04	-0,03	0,07	0,01	0,01	0,03	0,49*	0,71*	1,00			
HQND <sup>60</sup>	-0,01	-0,06	0,16	0,14	0,09	-0,24	-0,10	-0,09	0,01	0,07	-0,05	-0,11	0,05	0,09	0,07	-0,01	0,45*	0,33*	0,29*	1,00		
HQND <sup>180</sup>	-0,04	-0,03	0,06	0,07	0,04	-0,12	-0,28	-0,21	0,04	0,02	0,00	-0,03	0,05	0,08	0,06	0,00	0,35*	0,51*	0,45*	0,62*	1,00	
HQND <sup>300</sup>	-0,03	-0,06	0,05	0,08	0,05	-0,10	-0,21	-0,27	0,04	-0,04	-0,04	-0,04	0,04	0,10	0,04	0,01	0,33*	0,47*	0,49*	0,55*	0,75*	1,00

Legenda: \* – významná korelace ( $p < 0,05$ ); HQD – unilaterální poměr hamstring/kvadriceps na dominantní dolní končetině; HQND – unilaterální poměr hamstring/kvadriceps na nedominantní dolní končetině; <sup>60,180,300</sup> – úhlová rychlost pohybu; MA – morfologická asymetrie; APS – asymetrie posturální stability; Q:Q – bilaterální poměr extenzorů kolena; H:H – bilaterální poměr flexorů kolena; <sup>60,180,300</sup> – úhlová rychlost; BFD<sup>CMJ</sup> – bilaterální asymetrie u vertikálního výskoku bez pomoci paží; BFD<sup>SJ</sup> – bilaterální asymetrie u vertikálního výskoku z podřepu; APF – maximální síla při odrazové fázi běhu; IPF – maximální síla při dopadové fázi běhu; FI – silový impulz; <sup>Z</sup> – začáteční rychlost; <sup>K</sup> – konečná rychlost

## 6 DISKUZE

Disertační práce se zaměřovala na výzkum problematiky maladaptivních efektů v podobě vybraných indikátorů asymetrie u mladých sportovců (10 až 19 let) v České republice. Cílem bylo identifikovat rozdíly a vztahy asymetrických projevů pomocí standardizovaných testů a zjistit, jaký vliv na jejich prevalenci mají faktory jako druh sportu, chronologický věk, výkonnostní úroveň a pohlaví.

### 6.1 Objektivizace a identifikace bilaterálních a unilaterálních asymetrií

#### *Bilaterální asymetrie*

Průměrné hodnoty bilaterálních asymetrií dolních končetin napříč sledovanými parametry BA vyjádřené v relativních hodnotách (%) byly v souladu s arbitrárními prahy < 15 % pro zdravé hráče (Parkinson et al., 2021; Wylde et al., 2022). Výjimkou byly BA u testu posturální stability ( $19,13 \pm 13,47$  %). Průměrné hodnoty dosahovaly značně vyšších hodnot v porovnání se studií Malá et al. (2017), která uvádí hodnoty ~ 4 % pro U16 a ~ 7 % pro kategorii U21 u fotbalových hráčů elitní mládežnické akademie. Jedním z vysvětlení může být, že skupina mladých fotbalistů ve studii Malá et al. (2017) měla vyšší tréninkovou zkušenost (U16 ~ 8 let, U21 ~ 11 let) v porovnání se sportovci naší studie, kde bylo podmínkou pouze 5 let sportovní specializace (skupina 10–12 let > 3 roky). Další možností je významný vliv sportovní specializace, kde fotbal může představovat příznivé podmínky pro rozvoj posturální stability v jednooporovém postavení pro obě končetiny, a to zejména na elitní výkonnostní úrovni. Analyzovaný vzorek našeho výzkumu zahrnoval také mladé hráče fotbalu, ačkoli průměrné hodnoty byly vyhodnocované spolu s dalšími sportovci HY (florbalisti), což mohlo mít vliv na velikost bilaterální asymetrie.

Průměrné hodnoty u bilaterální asymetrie extenzorů kolena prokázaly hodnoty ~ 8 %, ačkoli můžeme pozorovat, že maximální dosažené hodnoty byly v rozmezí 26–27 % v závislosti na úhlové rychlosti (viz tabulka č. 9). Tohle zjištění zdůrazňuje význam individuálního hodnocení, protože meziskupinové rozdíly s využitím průměrných hodnot mohou klamně naznačovat, že se ZA (10–15 %) či VA (> 15 %) ve sportu nevyskytují. Jedním ze způsobů, jak se vypořádat s tímto problémem, je použití individualizovaného konceptu „skutečné asymetrie“ navrženého Bishopem (2021). Použití tohoto přístupu

umožňuje lépe rozlišit mezi skutečnými asymetriemi (vyšší než variabilita testu) a náhodnými odchylkami způsobenými přirozenou variabilitou testování. Další možností je posuzování bilaterálních asymetrií na základě hranice přesahující hodnoty 10–15 %, které byly spojovány se zvýšením rizika zranění (Croisier et al., 2008; Read et al., 2018a) či limitací ve výkonu (Bell et al., 2014). U bilaterálních asymetrií extenzorů kolena dosahovalo ~ 40 % sportovců (v rozmezí 37,3–39,5 % v závislosti na úhlové rychlosti pohybu) hodnot bilaterální asymetrie nad 10 %, což bylo prokázáno, že zvyšuje riziko zranění kolene až 16krát (Liporaci et al., 2019). Schmitt et al. (2015) uvádí, že u mladých sportovců (15–24 let) v rekondiční fázi po rekonstrukci ACL jsou deficity síly u extenzorů kolena spojeny se změněnou mechanikou kolene během dopadové fáze po vertikálním výskoku. Konkrétně sportovci s bilaterální asymetrií VA vykazují snížené kinetické vzory poraněného kolena, tzn., že vykazují vyšší míru zatížení nezraněné končetiny v porovnání se sportovci, kteří vykazují asymetrii NA. V naší studii byla identifikována VA u extenzorů kolena v rozmezí 19,7–22,0 % sportovců v závislosti na úhlové rychlosti pohybu. Přibližně třetina všech sportovců vykazovala asymetrii vyšší než 10 % při vertikálním výskoku CMJ, což dle Bell et al. (2014) může snižovat výšku výskoku až o ~ 9 cm. Tohle zjištění je velmi znepokojující pro sportovce, kteří využívají vertikální výskok ve vysoké míře při sportovně specifických pohybech (např. volejbal, fotbal). Na druhou stranu je třeba zmínit, že vertikální výskok či horizontální odraz je ve sportovním výkonu realizovaný v různém směru a provedení pohybu (unilaterální vs. bilaterální). Lockie et al. (2014) doporučuje testovat silovou asymetrii při výskoku či odrazu také v horizontálním a laterálním směru, z důvodu požadavků jednotlivých sportů. Dauty et al. (2016) prezentuje VA u flexorů kolene při nízké úhlové rychlosti pohybu jako prediktor budoucího zranění hamstringů (VA vysvětlila ~ 30 % variability nekontaktních zranění hamstringů). V naší studii bylo 28,2 % sportovců identifikováno s VA při nízké úhlové rychlosti pohybu. Knapik et al. (1991) zjistili, zvýšení rizika zranění dolních končetin u vysokoškolských atletek, když bilaterální asymetrie u flexorů kolena (střední úhlová rychlost pohybu) přesahovala hodnoty více než 15 %, ačkoli nebyly poskytnuty odhady velikosti účinku. Při pohybu ve střední úhlové rychlosti ~ 40 % všech sportovců vykazovalo bilaterální rozdíly u flexorů kolena více než 15 %. Tato zjištění můžou být důležitá pro klinické pracovníky v mládežnických kategoriích z důvodu, že poměrně vysoké procento sportovců vykazuje asymetrii vyšší než 10 % či 15 %, které byly spojované se zvýšeným rizikem zranění či limitací ve výkonu. Na druhé straně Helme et al. (2021) se vyjádřil k pomyslné hranici 10–15 % kriticky, protože

důkazy jsou nízké až střední úrovně ve spojení se zraněním (nedostatečné metodologické postupy) bez podpory kauzality. Naše práce se přímo nezabývala problematikou vztahu asymetrie k výskytu zranění. Na druhé straně výsledky by mohly poukázat na zastoupení jednotlivců s různou velikostí asymetrie v reflexi jednotlivých druhů sportu, věkových kategorií, výkonnostní úrovně a pohlaví u momentálně nezraněných sportovců (viz kapitola 6.2).

Směr bilaterální asymetrie vzhledem k DK, resp. NDK vykazovala mírnou tendenci ukazovat lepší výkon (nebo vyšší hodnoty) v prospěch DK (viz graf č. 1). Nejvýraznější rozdíly pozorujeme u distribuce rozložení svalové hmoty na dolních končetinách, kde až 81 % (n = 562) z celkového počtu sportovců mělo směr k DK. Tenhle trend se neprojevil u silových testů, protože DK byla identifikována jako silnější (v testech izokinetické svalové síly) pouze u 47,7–50,0 % sportovců v závislosti na uhlové rychlosti pohybu a svalové skupině (extenzory vs. flexory kolene). V souladu s naším zjištěním je taky studie Fort-Vanmeerhaeghe et al. (2016), kde pouze u 40 % hráčů volejbalu a basketbalu byla určena DK (před testem) jako končetina s lepším výsledkem v unilaterálním skoku do dálky. Tuhle skutečnost je třeba zvážit při interpretaci velikosti asymetrie, protože rozdíly ve výpočtu velikosti asymetrie jsou v rozmezí 10–14 % vzhledem k využití vzorce, který rozlišuje DK vs. NDK (Malý et al., 2015) oproti vzorci, který zohledňuje silnější a slabší dolní končetinu v rámci vybraného testu (Impellizzeri et al., 2007). McFall et al. (2022) prezentuje u cyklistů výsledky směru bilaterální asymetrie při unilaterálním vertikálním výskoku CMJ ve prospěch dolní končetiny, která byla označovaná jako „přední“ (z hlediska postavení dolní končetiny při sjezdu na horském kole). Na druhou stranu 2 z 8 cyklistů vykazovali opačný směr asymetrie, jež byla navíc identifikována jako významná (Bishop et al., 2021), což má zásadní vliv na nastavení pohybové intervence s cílem snížit bilaterální rozdíly. Raya-González et al. (2020) uvádí, že směr asymetrie je nekonzistentní a je specifický pro vybraný úkol, což podtrhuje individuální vyhodnocování směru asymetrie zejména u nezraněných hráčů. V tomto kontextu je proto nedostatečné vyhodnocovat směr asymetrie pomocí skupinových hodnocení, protože by to nemuselo reflektovat skutečné potřeby jedinců v dané skupině (Bishop et al., 2022).

Úhlová rychlost pohybu neprokázala významný vliv na hodnoty bilaterální asymetrie extenzorů kolena, což je v souladu s dalšími studiemi (Malý et al., 2010; Rahmana et al., 2005). Naopak u bilaterálních asymetrií flexorů kolena jsme pozorovali

významné zvýšení hodnot s narůstající úhlovou rychlostí pohybu. Stejně zjištění uvádí Iga et al. (2009) u skupiny trénovaných a netrénovaných mladých sportovců, kde rozmezí bilaterální asymetrie u flexorů kolena bylo nižší (15–18 %) při pomalejší úhlové rychlosti (60°/s) ve srovnání s úhlovou rychlostí 180°/s, kde rozmezí asymetrie bylo 25–37 %. Z hlediska svalové skupiny kolene (extenzory vs. flexory) jsme pozorovali významně vyšší hodnoty u flexorů kolenního kloubu v porovnání s jejich agonisty (extenzory) při všech úhlových rychlostech. Ermis et al. (2019) také prezentuje rozdíly mezi bilaterální asymetrií flexorů a extenzorů kolene, kde sportovci dosahovali vyšších hodnot u flexorů kolena. Tato skutečnost může být ovlivněna tím, že flexory kolena se více zapojují do intenzivnějších specifických pohybů pro sportovní výkon, jako je brždění a změna směru, což teoreticky může vést k vyšší diferenciaci v silovém projevu. Na druhé straně extenzory kolena mohou být více stabilní, protože jejich role je často spojována s udržováním postavení těla a pohyby vyžadující izometrickou svalovou kontrakci (Ermis et al., 2019).

Typ výskoku prokázal významný vliv na hodnoty bilaterální asymetrie, kde u CMJ pozorujeme významně vyšší hodnoty v porovnání s výskokem SJ (7,45 % vs. 4,13 %). Podobné závěry uvádí Miratsky et al. (2021) u dospělých profesionálních hasičů, kteří dosahovali významně vyšších hodnot bilaterální asymetrie u CMJ ( $8,9 \pm 6,74$  %) v porovnání SJ ( $4,15 \pm 3,54$  %). Navzdory statisticky významnému vztahu mezi těmito dvěma parametry, míra asociace byla zanedbatelná ( $r = 0,17$ ,  $p < 0,01$ ). Tohle zjištění poukazuje na nezávislost asymetrie dokonce při stejném typu pohybového úkolu (vertikální výskok), což může odrážet odlišné nároky typu výskoku na jeho provedení z hlediska symetrie provedení pohybu. Jedním z vysvětlení může být, že absentuje fáze snížení (excentrická) u SJ na začátku výskoku a tím pádem klesají také požadavky na intermuskulární koordinaci (Bishop et al., 2016).

BA byly zkoumány při běhu se submaximální (Zifchock et al., 2008) a maximální rychlostí (Exell et al., 2012). Zatím však není zcela jasné, zda se velikost těchto asymetrií mění s rostoucí rychlostí. I přestože některé studie naznačovaly, že se asymetrie zvyšuje s vyšší rychlostí běhu (Exell et al., 2012), další studie tuto hypotézu nepotvrdila (Girald et al., 2019). V našem výzkumu jsme BA hodnotili pomocí inverzní dynamiky běhu na 3D běhátku u dvou rychlostí – začáteční (běh mírné intenzity) a konečné (sub-maximální intenzita) (viz kapitola inverzní dynamika běhu). Rychlost pohybu prokázala významný vliv na hodnoty BA u parametru APF a FI. Významně vyšší hodnoty asymetrie se střední

velikostí efektu byly pozorovány u pomalejší rychlosti (APF:  $4,72 \pm 4,23$  % vs.  $3,64 \pm 2,71$  %,  $d = 0,45$ ; FI:  $6,71 \pm 6,52$  % vs.  $4,86 \pm 4,63$  %,  $d = 0,32$ ). Girard et al. (2019) zkoumali BA u dospělých běžců při různých běžeckých rychlostech od 10 do 25 km/h (zvyšování o 2,5 km/h po jedné minutě). Jejich výsledky prokázaly významné snížení BA, konkrétně u parametrů „brzdného silového impulzu“ (z angl. braking impulse), což je v souladu s naší studií. Je nutné zmínit, že u dalších sledovaných parametrů (kinetické, kinematické parametry) nebyl prokázán významný vliv běžecké rychlosti pohybu na hodnoty BA, které byly po celou dobu relativně nízké ( $< 4$  %). Je důležité brát v úvahu, že měření asymetrie při běhu je komplexní problematikou a může být ovlivněno různými faktory (aktuální trénovanost, periodizace ročního tréninkového cyklu apod.) včetně individuálních zvláštností sportovce (Zifchock et al., 2008).

### **Unilaterální asymetrie**

Unilaterální asymetrie v naší práci byla vyhodnocována jako poměr svalové síly hamstringu ke kvadricepsu (H:Q). Konvenční poměr H:Q, který prezentujeme, zahrnuje pouze koncentrickou svalovou práci, za což byl kritizován, protože k poranění hamstringů dochází převážně během excentrické fáze běžeckého kroku (Liu et al., 2012). Průměrné výsledky H:Q dosahovaly hodnot v rozmezí  $\sim 52$ – $57$  % v závislosti na dominanci a úhlové rychlosti pohybu (viz tabulka č. 9). Rozsah variačního rozpětí se zvětšoval s vyšší úhlovou rychlostí pohybu (nízká vs. střední vs. vysoká;  $\sim 37$  % vs.  $\sim 48$  % vs.  $\sim 51$  %), což může odrážet dopad vysoce intenzivních specifických pohybu u jednotlivce (např. kop či změna směru), které jsou ve sportovních výkonech zastoupené ve velké míře. Je třeba zmínit, že některé sportovně specifické pohyby jako je kop do míče nebo odpal v baseballu jsou prováděné v daleko vyšších rychlostech pohybu (Nunome et al., 2002; Welch et al., 1995). Nunome et al. (2002) prezentuje vyšší rychlosti pohybu (rotační rychlost v pánevní oblasti) při realizaci kopu boční stranou kopačky ( $636^\circ/\text{s}$ ) v porovnání s kopem přímým nártem ( $343,8^\circ/\text{s}$ ). Další studie by měli proto zvážit v rámci diagnostiky zařazení vyšších rychlosti pohybu z důvodu lepší shody s požadavky vybraného sportu. Úhlová rychlost pohybu neprokázala významný efekt na hodnoty H:Q poměru (pro obě končetiny), což je v souladu s dalšími studiemi (Daneshjoo et al., 2013; Malý et al., 2014). Naopak Hewett et al. (2008) provedli meta-analýzu 22 studií zahrnujících 1455 mužů (nesportovců) a prokázali významnou korelaci mezi unilaterální asymetrií a úhlovou rychlostí pro izokinetické testování (vyšší rychlost = vyšší poměr unilaterální asymetrie). Baroni et al. (2020) uvádí výsledky, které naznačují, že hráči při

vysokých úhlových rychlostech pohybu (240–360°/s) dosahovali průměrné hodnoty 70–80 %; zatímco při testování při pomalých a středních rychlostech (30–180°/s) se průměrné hodnoty pohybovali ~ 60 %.

### **Míra asociace mezi asymetriemi v jednotlivých testech**

Naše studie zjišťovala míru asociace mezi sledovanými BA a UA pomocí korelační analýzy. Výsledky prokázaly významný vztah s velmi silnou až střední velikostí efektu pouze u asymetrií stejného druhu (měřeno stejnou metodikou), zejména při UA. H:Q poměr analyzovaný při střední úhlové rychlosti vysvětloval velikost UA při nejvyšší měřené úhlové rychlosti pohybu přibližně z 56 % pro NDK a 50 % pro DK. V rámci vztahu silových asymetrií (izokinetická svalová síla a inverzní dynamika vertikálního výskoku) pozorujeme v několika případech statistický významný vztah, ačkoli s nízkou mírou asociace ( $r < 0,3$ ). Kobayashi et al. (2013) prezentuje významný vztah mezi bilaterální asymetrií extenzorů kolene při střední úhlové rychlosti a kinematickými (maximální uhel při flexi kolenního kloubu,  $r = 0,88$ ) a kinetickými (průměrné hodnoty točivého momentu v kolenním kloubu,  $r = 0,62$ ) bilaterálními asymetriemi při unilaterálním vertikálním výskoku CMJ. V naší studii pozorujeme pouze triviální vztah mezi Q:Q180 a BFDCMJ ( $r = 0,03$ ,  $p > 0,05$ ). Jedním z vysvětlení může být, že v rámci naší studie se jednalo o vztah mezi silovými asymetriemi a také byl prováděn CMJ s využitím obou končetin. Míra asociace mezi parametrem morfologické asymetrie (rozložení svalové hmoty na dolních končetinách) nevykazovala téměř žádný vztah s ostatními parametry BA a UA ( $r < 0,1$ ), což potvrzuje naši stanovenou hypotézu o nezávislosti asymetrie z hlediska druhu. Podobné výsledky prezentuje Chapele et al (2022), který zkoumal závislost mezi velikostí morfologické asymetrie na dolních končetinách (rozložení tukuprosté hmoty) a asymetriemi zjišťovanými při silových (unilaterální CMJ, odhod medicinbalu z pozice sed) a rychlostních testech (rychlost se změnou směru, 505 test). Nejvyšší asociaci pozoruje se silovou asymetrií u testu pro horní končetiny (odhod medicinbalu z pozice sed), kde morfologická asymetrie vysvětlovala maximálně 12,7 %. Pro vztah mezi asymetriemi zjištěnými u testu 505 a unilaterálním výskokem CMJ byly hodnoty menší a vysvětlovaly méně než 10 %. Autoři v závěru uvádí, že snížení velikosti morfologické asymetrie (pomocí cílených tréninkových intervencí) nemusí nutně vést ke snížení velikosti asymetrie ve výkonu (nebo naopak). Z toho důvodu by se měla asymetrie vyhodnocovat individuálně, aby reflektovala skutečné požadavky pro nastavení tréninkového režimu.

## 6.2 Komparace asymetrie vzhledem k nezávislým faktorům

### 6.2.1 Bilaterální a unilaterální asymetrie v reflexi druhu sportu

Analýza dat prokázala významné rozdíly v reflexi druhu sportu pouze u dvou parametrů ( $H:H^{180}$  a  $BFD^{SJ}$ ). Významně vyšších hodnot BA při vertikálním výskoku SJ dosahovali sportovci skupiny ASY v porovnání se skupinou SY, ačkoli s malou velikostí efektu mezi rozdíly. Jedno z vysvětlení může být, že sportovci zařazení do skupiny ASY vykazují vyšší četnost asymetrických projevů při realizaci sportovně specifických pohybů (pouze na preferovanou stranu či preferovanou končetinu). Tenhle trend se neprokázal u dalších indikátorů BA, naopak u flexorů kolena při střední úhlové rychlosti pohybu dosahovali sportovci ASY významně nižších hodnot v porovnání se sportovci SY a HY. Tenhle rozdíl byl ale z hlediska věcné významnosti pouze malý až střední velikosti a pro praktické účely zanedbatelný. Naše hypotéza se nepotvrdila, protože jsme předpokládali opačný výsledek a vyšší hodnoty BA u sportovců ASY v porovnání s dalšími skupinami. Jedním z vysvětlení může být také nezohlednění herní specializace v rámci vybraných sportů. Malý et al. (2020) uvádí u fotbalových hráčů nejvyšší hodnoty bilaterální asymetrie flexorů kolena při vysoké úhlové rychlosti u brankářů ( $18,73 \pm 11,58$  %) v porovnání se středními záložníky ( $9,46 \pm 6,92$  %) a útočníky ( $8,53 \pm 7,66$  %). Tuhle skutečnost vysvětluje odlišnými požadavky v rámci herních pozic, kde brankáři často upřednostňují dominantní končetinu při činnostech, jako je výkop z ruky či dlouhé nákopky za obranu soupeře. Naopak pro herní pozici střední záložník či útočník je „obounohost“ velmi důležitá z důvodu rychle motorické odpovědi při řešení herních situací v požadovaném směru. Kalata et al. (2020) prezentuje protichůdné výsledky, kde ASY vykazovala vyšší úroveň bilaterálních asymetrií extenzorů ( $9,40 \pm 4,32$  %) a flexorů kolena ( $11,74 \pm 7,41$  %) v porovnání se sportovci SY ( $Q:Q = 5,42 \pm 3,01$  %,  $H:H = 8,30 \pm 7,79$  %) a HY ( $Q:Q = 5,46 \pm 5,70$  %,  $H:H = 6,97 \pm 7,01$  %). Je nutno zmínit, že ve studii Kalata et al. (2020) byla ASY zastoupena pouze hráči volejbalu, zatímco v naší studii bylo zahrnuto více sportů (golf, tenis, volejbal). Primární zastoupení tvořila skupina golfistů z elitních akademií. Mladí golfisté v rámci týdenního mikrocyklu se věnují kompenzačním cvičením 2× týdně, což se mohlo projevit také na celkových výsledcích. Také to mohlo být ovlivněné výběrovým vzorkem, mírou specializace či inter-individuálními zvláštnostmi jednotlivých sportovců, protože v porovnání s naší prací disponovali výrazně menším analyzovaným vzorkem ( $n = 50$ ).



Významně vyšší zastoupení ZA a VA u extenzorů a flexorů kolena v naší studii měly SY a HY (viz tabulka č. 10). Pro tyto sporty je společným rysem vysoký objem běžecké činnosti při provádění sportovního výkonu (v skupině SY primárně pro běžce na dlouhé tratě a triatlonisty). Průměrný objem vzdálenosti během fotbalového utkání je kolem 10–12 km a v rámci týdenního cyklu (4–5 tréninků) je celkový objem ještě 2–2,5krát vyšší v závislosti na výkonnostní úrovni, věkové kategorii či herní pozici (Clemente et al., 2019). Ueberschär et al. (2019) uvádí, že u běžců na dlouhé tratě byly identifikované zvýšené bilaterální asymetrie jako důsledek výrazného asymetrického zatížení tibie při běhu. Navíc detekované asymetrické zatížení může také reflektovat obranné mechanismy pro běžce ke kompenzaci individuálních anatomických zvláštností, jako jsou skolióza či jiná kloubní vada oporně-pohybového systému. Brighenti et al. (2022) zkoumali vliv rozcvičení (10 minut na šlapacím ergometru) na výkon a míru bilaterální asymetrie při testu posturální stability u stoje na jedné noze (test byl prováděn opakovaně před rozcvičením a po rozcvičení). Vzorek byl tvořen dvěma skupinami sportovců na základě jejich zkušeností a účasti v asymetrických, resp. symetrických sportech. Výsledky prokázaly významný vliv rozcvičení pouze na výkon v případě dominantní končetiny, tzn., že míra bilaterální asymetrie se ještě zvýšila. Tenhle trend byl výraznější u sportovců, kteří měli zkušenost a participaci u asymetrických sportů. Na rozdíl od naší studie se sporty rozlišovaly pouze na symetrické a asymetrické, kde sporty jako fotbal (v naší studii zařazen do hybridních sportů) byly zařazeny do kategorie asymetrických sportů. Z toho důvodu je obtížné porovnávat vliv charakteru sportů z hlediska výskytu asymetrických vzorů, protože kritéria pro zařazení jednotlivých sportů se mohou lišit v závislosti na studii.

Dai et al. (2019) zkoumali vliv různých sportů včetně fotbalu, golfu, běhu a plavání, které jsou zahrnuty i v naší studii na úroveň BA v testu dynamické stability (Y balance test) a vertikálním výskoku CMJ. Výsledky prokázaly významný vliv sportu pouze na výkon, nikoliv na úroveň BA. Stiffler et al. (2015) také neprokázali významnost rozdílu BA během testu dynamické stability (Y balance test) u dospělých sportovců ve 12 různých sportech. Nevýznamný vliv sportovní specializace na BA naznačuje, že zvýšené riziko zranění spojené se zvýšenými asymetriemi by mohlo být více individualizované než specifické pro sport. Tahle skutečnost může být ovlivněná také v závislosti na rozdílu v rámci jednoho sportu, kde se BA můžou lišit vzhledem k herní specializaci (Malý et al., 2020), což nebylo zohledněno v rámci naší studie. Dále

klasifikace druhu sportu dle Kalata et al. (2020) nemusí reflektovat asymetrický dopad na dolních končetinách u sportů, jako jsou golf či volejbal, protože vysoký objem asymetrických vzorců pohybů je prováděn horními končetinami (Hank et al., 2019; Zemková et al., 2019).

Doporučený konvenční H:Q poměr svalové skupiny extenzorů a flexorů se pohybuje v rozmezí 55–60 % (Gokeler et al., 2017), což splňují ve všech sledovaných parametrech pouze sportovci ze skupiny HY (> 55 %). Nejnižší hodnoty H:Q poměru byly zjištěny u skupiny ASY (> 53 %) což je ve shodě se studií Kalata et al. (2020), který uvádí hodnoty UA pro skupinu ASY ~ 51 % pro obě dolní končetiny. Při meziskupinovém porovnávání dosáhli významně vyšších hodnot H:Q poměru sportovci HY v porovnání s ASY a SY ve všech úhlových rychlostech pohybu pro obě dolní končetiny. Kalata et al. (2020) také prokázali významně vyšší H:Q poměr u sportovců HY v porovnání se skupinou SY a ASY u nízké uhlové rychlosti pohybu. Tohle zjištění může reflektovat požadavky konkrétního sportu s ohledem na četnost a biomechaniku pohybových vzorců, které jsou v něm primárně zastoupené. Primární role svalové skupiny hamstringů ve sportovním výkonu je často spojována s jejich funkcí při běhu ve vysoké intenzitě a sprintu. Jejich primární úlohou je zpomalit extenzi kolena během konečné fáze švihů (bod v cyklu běhu, kde ani jedna končetina není v kontaktu se zemí), takže chodidlo může navázat kontakt se zemí pod těžištěm těla, po kterém působí jako aktivní extenzor kyčle (Schache et al., 2012). Kromě toho hamstringy hrají důležitou roli v produkci horizontální síly během mechaniky akcelerace (Morin et al., 2015). Skupina HY byla zastoupená v naší studii primárně mladými fotbalisty, kteří během zápasu absolvují až 7–12 % u běhu vysoké intenzity (> 5 m/s), z čehož 3–4 % tvoří sprint (> 7 m/s) (Barnes et al., 2014). Naproti tomu ve skupině ASY, kterou tvořili ve velké míře mladí golfisté, tyto vysoce intenzivní činnosti běžeckého charakteru při sportovním výkonu zcela chybí. Na druhou stranu byli zjištěny vysoké rychlosti pohybu (rotační rychlost v pánevní oblasti) při specifické sportovní činnosti jako je golfový švih (227 °/s, Gulgin et al., 2009) či odpal při baseballu (714°/s, Welch et al., 1995). Dalším důvodem může být, že v tréninkovém procesu je kladen velký důraz na rozvoj svalové síly extenzorů kolena (m. quadriceps femoris), které jsou primárně zodpovědné za vertikální výskok u volejbalu (Hank et al., 2019). Harbili et al. (2022) uvádí, že u sportu taekwondo je pro sportovně specifický pohyb (kop) potřeba vyvinout větší svalovou sílu u extenzorů kolena v porovnání se skupinou flexorů kolena (Harbili et al., 2022). Hodnoty unilaterální

asymetrie vyjádřené H:Q poměrem byly prezentované jako silný prediktor pro bezkontaktní zranění dolní končetiny u sub-elitních sportovců basketbalu a fotbalu. Tohle zjištění podtrhuje důležitost včasné diagnostiky a následné realizace pohybové intervence pro kompenzaci UA. V rámci jednotlivých druhů sportu pozorujeme mírné zvýšení H:Q poměru pouze mezi nízkou úhlovou rychlostí pohybu v porovnání se střední a nejrychlejší úhlovou rychlostí pohybu u skupiny sportovců SY (dominantní – 52,2 % vs. 54,7 % vs. 55,3 %; nedominantní – 52,0 % vs. 53,5 % vs. 53,3 %) a HY (dominantní – 57,6 % vs. 58,9 % vs. 58 %; nedominantní – 55,0 % vs. 56,5 % vs. 55,4 %), ačkoli výsledky nebyly statisticky významné. Toto zjištění naznačuje specifický vztah mezi maximálním točivým momentem a rychlostí svalové kontrakce flexorů a extenzorů kolena z důvodu, že flexory kolena mají vyšší zastoupení rychlých svalových vláken, které jsou schopné produkovat vyšší svalovou sílu za jednotku času v porovnání s extenzory kolena (vyšší zastoupení pomalých vláken v porovnání se svalovou skupinou flexorů kolene) (Wilmore et al., 2004). Naopak u skupiny ASY pozorujeme klesající trend se zvyšující se úhlovou rychlostí pohybu, což by mohlo predisponovat sportovce ke zvýšenému riziku zranění při vysoko intenzivních pohybech (decelerace či změna směru). Důvodem může být, že jenom silová kontribuce flexorů kolena nebude dostačující pro stabilitu kolenního kloubu (Hewet et al., 2008).

Z hlediska porovnávání bilaterálních a unilaterálních asymetrií vzhledem k druhu sportu výsledky prokázaly výraznější rozdíly při UA, kde HY dosahovaly významně nižších hodnot u všech parametrů v porovnání se SY a ASY. BA prokázaly pouze statisticky významné rozdíly u dvou parametrů BFD<sup>SJ</sup> a H:H<sup>180</sup>, ačkoli tyto rozdíly byly zanedbatelné z pohledu věcné významnosti. Tohle zjištění naznačuje minimální vliv charakteru pohybového zatížení v rámci druhu sportu na stupeň dosažených hodnot BA. Budoucí studie by měla zohlednit další faktory, jako jsou délka sportovní specializace, četnost zařazení doplňkových cvičení/sportu v rámci tréninkového obsahu, volnočasové aktivity sportovců, které mohou ovlivňovat úroveň detekovaných BA.

### **6.2.2 Bilaterální a unilaterální asymetrie v reflexi rozdílné věkové kategorie**

Naše studie měla za cíl zjistit vliv chronologicky rozdílných věkových skupin na hodnoty BA ve vybraných parametrech. Sportovci byli rozděleni do tří věkových skupin v rozmezí 10–12 let, 13–15 let a 16–18 let na základě přepočítaného chronologického věku ke dni realizace testů. Některé studie využívají rozdělení dle věkových kategorií

jako v týmovém sportu U10–U19 (Kalata et al., 2021; Malý et al., 2021). Z toho pohledu byla v naší studii nejmladší věková skupina 10–12 let zastoupena sportovci kategorie U11–U13, skupina 13–15 let kategoriemi U14–U16 a nejstarší věkovou skupinu 16–18 let tvořili převážně sportovci kategorie U17 až U19. Mezi sledovanými skupinami byly zjištěny významné rozdíly u antropometrických parametrů – skupina 13–15 let je v průměru o 9,7 % vyšší a 34,1 % těžší v porovnání s kategorií 10–12 let. Pozorované rozdíly jsou v souladu s ontogenetickými zákonitostmi, kde období tzv. PHV nastává mezi 13. až 15. rokem života u chlapců a u dívek o něco dříve kolem 12. roku věku (De Ste Croix, 2007). Kategorie 16–18 let byla v průměru o 2,3 % vyšší a o 13,9 % těžší v porovnání s kategorií 13–15 let. Tyhle rozdíly nebyly tak markantní jako ve srovnání mladších skupin, což koresponduje s výzkumem, který se zabýval maturací a prokázaly zpomalení růstu v období po pubertálním vývoji (Malina et al., 2004).

Hlavním zjištěním z hlediska rozdílu věkových skupin bylo, že sportovci 16–18 let dosahovali významně nižších hodnot BA u extenzorů kolena ( $Q:Q^{180}$  a  $Q:Q^{300}$ ) v porovnání s kategorií 10–12 let. Významně nižší hodnoty BA u nejstarší skupiny v porovnání s mladšími kategoriemi (13–15 let a 10–12 let) byly zjištěné při analýze inverzní dynamiky běhu, konkrétně u parametru maximální síly při odrazové fázi běhu sub-maximální rychlosti pohybu ( $APF^K$ ). Tenhle trend byl prokázán také u analýzy lineární regrese, kde nezávislá proměnná chronologický věk byl významným prediktorem u 5 parametrů ( $AM$ ,  $Q:Q^{180}$ ,  $Q:Q^{300}$ ,  $APF^K$ ,  $APF^Z$ ) a dosahoval záporných hodnot, tzn. se zvyšujícím se věkem se BA snižovala. Je potřeba zmínit, že ačkoli byly prokázány statisticky významné rozdíly, z hlediska věcné významnosti se jednalo o rozdíl přibližně 2,14–2,40 % v závislosti na úhlové rychlosti pohybu. Jedním z důvodů může být nezohlednění stavu maturace u dospívajících sportovců v naší studii (Read et al., 2018b). Dalším důvodem může být fakt, že velikosti BA jsou podobné napříč věkovými kategoriemi, a její variabilitu vysvětlují další námi nezkoumané faktory (např. tréninková zkušenost). Na druhé straně významné rozdíly byly prokázány také v zastoupení VA a ZA u extenzorů kolene zjišťované při střední a vysoké úhlové rychlosti pohybu. Významně vyšší zastoupení hráčů bylo identifikováno s velikostí asymetrie více než 15 % u kategorie 10–12 let (29–33 %) v porovnání se staršími věkovými kategoriemi (13–15 let = 21 %; 16–18 let = 16–17 %). Jedním z vysvětlení může být nedostatečná zkušenost s prováděním vysoké rychlosti pohybu při extenzi a flexi kolenního kloubu u mladších hráčů v laboratorních podmínkách (izokinetická dynamometrie), zejména

u kategorie 10–12 let. Kalata et al. (2021) prezentují prevalenci ZA vyjádřenou momentem svalové síly extenzorů a flexoru kolene při nízké úhlové rychlosti u mladých fotbalových hráčů kategorie U13, U15 a U17. Výsledky prokázaly vyšší distribuci VA u mladších kategorií (U15 a U13) v porovnání s kategorií U17, ačkoli výsledky byly statisticky významné pouze pro svalovou skupinu flexorů kolena. Tohle zjištění indikuje, že delší doba účasti ve sportovním tréninku (tréninková zkušenost) by mohla zlepšovat nervosvalové prostředí sportovce, které se následně stává více odolným vůči úrovni bilaterálních rozdílů (Philippaerts et al., 2006). Read et al. (2018b) prezentují bilaterální asymetrie u mladých (10–18 let) fotbalistů při realizaci specifických testů (test Y-balance, horizontální odraz jednož, unilaterální CMJ). Na rozdíl od naší studie hodnotili také stupeň maturity a jejich vzorek byl na základě toho rozdělen do tří skupin: předpubertální (pre-PHV), pubertální (circa-PHV) a postpubertální (post-PHV). Jejich zjištění napovídá, že bilaterální asymetrie ve funkčním výkonu se zdá být zavedena už v raném dětství (pre-PHV). Vzhledem k tomu, že VA je možným faktorem přispívajícím ke zvýšenému riziku zranění, monitorování bilaterálních asymetrií s následnými intervencemi pro její eliminaci by bylo vhodné zařadit už v prepubertálním věku. Hart et al. (2016) zkoumal vliv délky tréninkové zkušenosti (méně zkušení hráči vs. zkušenější hráči) na stupně BA s ohledem na rozdílné požadavky dolních končetin u amerického fotbalu. Výsledky naznačují vyšší úroveň morfologické bilaterální asymetrie (kostní hmota) u zkušenějších hráčů (> 3 roky) v porovnání s méně zkušenými hráči (< 3 roky). V závěrech uvádí, že zvýšené deficity mohou být vysvětlené jako přirozená reakce na sportovní úkoly vyžadující asymetrické pohybové vzory (končetina využívaná primárně pro kop do míče vs. oporová končetina) v průběhu sportovní kariéry. Je nutné dodat, že ve studii Hart et al. (2016) byly obě skupiny v zastoupení dospělých hráčů v porovnání s naší studií, kde i nejstarší skupina hráčů patří do mládežnické kategorie (16–18 let). Rozdíly pozorujeme také u rozlišovacího kritéria, kde na rozdíl od naší studie byla zohledněna délka tréninkové zkušenosti místo chronologického věku.

Analýza prokázala signifikantně vyšší hodnoty H:Q poměru u kategorie 16–18 let v porovnání s kategorií 13–15 let u vysoké úhlové rychlosti pohybu pro dominantní dolní končetinu. Také byly prokázány významně vyšší hodnoty v porovnání s kategorií 10–12 let u nízké úhlové rychlosti na nedominantní dolní končetině. Lineární regrese identifikovala významný vliv chronologického věku na hodnoty UA měřené při nízké úhlové rychlosti pro obě dolní končetiny. Tohle zjištění podporuje studie Dauty et al.

(2003), kteří zjistili významný vliv chronologického věku pouze u pomalejší úhlové rychlosti ( $30^\circ/s$ ) v porovnání se střední úhlovou rychlostí, kde výsledky nedosahovaly statisticky významných hodnot. Tahle skutečnost naznačuje, že pro klinickou praxi by měly být hodnoty unilaterální asymetrie měřené úhlovou rychlostí  $60^\circ/s$  z důvodu deskripce obecné svalové síly (Iga et al., 2009). Forbes et al. (2009) naopak pozoruje vyšší hodnoty u mladší kategorie – kde U12 a U14 (65 %) v porovnání s kategorií U16 (52 %), ačkoli tyto hodnoty nebyly statisticky významné. Ishøi et al. (2021) prezentuje nižší unilaterální asymetrii u kategorie U19 (61 %) v porovnání s kategorií U17 (56 %) a U15 (59 %). Při interpretaci unilaterální asymetrie je nutné zohlednit také hodnoty svalové síly kvadricepsů a hamstringů individuálně. Důvodem je, že vyšší H:Q poměr nemusí vždy znamenat dobrou silovou připravenost sportovce, ale poukazovat na nedostatečnou sílu svalové skupiny kvadricepsů k hamstringům (která zvýší hodnoty H:Q poměru). Ishøi et al. (2021) prezentuje o 18 % až 28 % nižší H:Q poměr u dospělých fotbalistů v porovnání s mládežnickými kategoriemi (U12–U19). Jedním z důvodů byla skutečnost, že zatímco síla kvadricepsů se významně zvyšovala z kategorie U13 po seniorský tým, síla hamstringů vrcholila u kategorie U19. Seo et al. (2015) uvedli, že osmitýdenní trénink taekwonda vedl u sportovců ve věku 18–21 let k významnému zvýšení síly extenzorů kolene (pro obě dolní končetiny) v porovnání se silou flexorů kolena, kde nedošlo k významným změnám. Z toho důvodu je žádoucí, aby trenéři a kliničtí pracovníci při vyhodnocování a interpretaci unilaterální asymetrie zohlednili také sílu jednotlivých svalových skupin (hamstring a kvadriceps), nikoli pouze H:Q poměr.

### **6.2.3 Bilaterální a unilaterální asymetrie v reflexi výkonnostní úrovně**

Jedním z cílů studie bylo komparovat bilaterální a unilaterální asymetrie vzhledem k výkonnostní úrovni sportovce. Sportovci byli charakterizováni jako elitní a sub-elitní (viz inkluzivní kritéria) dle studie Lorenz et al. (2013). Reprezentovali dva první výkonnostní stupně v rámci mládežnických kategorií v České republice. Z hlediska věku byla sub-elitní skupina významně starší v porovnání s elitní skupinou ( $15,4 \pm 2,1$  let vs.  $14,9 \pm 2,2$  let,  $p < 0,05$ ), ačkoli v parametrech BH, BW nebyly prokázány statisticky významné rozdíly. Analýza dat prokázala významné rozdíly u parametrů Q:Q<sup>180</sup>, ačkoli při zohlednění dalších faktorů (věk) výsledky nedosahovaly statistiky významných hodnot ( $p > 0,05$ ). Významně nižších hodnot BA u indikátorů H:H<sup>180</sup> zaznamenali sportovci elitní skupiny v porovnání se sub-elitní skupinou nezávisle na věku, druhu

sportu či pohlaví. Z praktického hlediska se jednalo o rozdíl pouze 1,42 %, což je zanedbatelné pro praktické účely. V souladu s našimi výsledky je studie Versic et al. (2021), kteří prezentují nevýznamné rozdíly z hlediska výkonnostní úrovně u BA pro specifické testy agility u mladých basketbalistů. Podobně jako v naší studii se jednalo o rozdíl pouze jednoho výkonnostního stupně, což může reflektovat minimální rozdíly z pohledu tréninkového objemu (4–5 tréninků/týden vs. 5–6 tréninků/týden pro naši studii). Dalším vysvětlením může být, že úroveň ambidexterity, tj. schopnosti člověka používat obě strany těla pro provádění určitého pohybu se stejnou kvalitou, pozitivně ovlivňuje sportovní výkon, a to převážně ve sportech s důrazem na kvalitu provedení, například rytmická gymnastika (Miletic et al., 2009).

Cometti et al. (2001) prezentuje významné rozdíly UA vyjádřené parametrem H:Q poměr z hlediska výkonnostní úrovně sportovce. Významně nižší hodnoty byly prezentovány u sportovců amatérské výkonnostní úrovně v porovnání se sportovci elitní a sub-elitní skupiny. Podobně jako v naší studii nebyly významné rozdíly prokázány mezi sportovci prvních dvou výkonnostních úrovní (elitní vs. sub-elitní). Kalata et al. (2023) zjišťoval rozdíly při vertikálním výskoku s protipohybem a s použitím paží (z angl. countermovement jump with free arms, CMJFA) a DJ u elitních a sub-elitních fotbalistů kategorie U19. Překvapivě vyšší hodnoty výšky výskoku prokázali sub-elitní hráči, ačkoli hodnoty nebyly statisticky významné. Z toho usuzujeme, že hranice určení elitní a sub-elitní skupiny u mládeže je komplikovaná, zejména když je rozdíl pouze jeden výkonnostní stupeň. Jednou z možností, proč výkonnostní úroveň v naší studii neprokázala významné rozdíly mezi skupinami, může být skutečnost, že na úrovni prvních dvou výkonnostních stupňů většina sportovců podstupuje pravidelnou diagnostiku síly (nebo má zkušenost) v předsezónním období v rámci ročního makrocycly. Následné preventivní zásahy v podobě upravených tréninkových plánů mohou ovlivňovat úroveň hodnoty BA a UA. Dalším důvodem může být šířka realizačního týmu specialistů v rámci klubu či organizace, která má na starost kondiční přípravu a péči o zdraví (fyzioterapeut, masér, kondiční trenéři apod.). Tyhle informace nebyly zjišťovány v rámci naší studie.

#### 6.2.4 Bilaterální a unilaterální asymetrie v reflexi pohlaví

Naše studie analyzovala rozdíly v úrovni hodnot BA a UA v závislosti na pohlaví sportovce. Skupina zastoupená ženskou populací dosahovala významně nižších hodnot v parametrech BH, BW a FFM v porovnání se skupinou stejně stářích mužů. U parametru % BF naopak významně nižších hodnot dosahovala mužská skupina, což je v souladu s ontogenetickými zákonitostmi v závislosti na intersexuálních rozdílech (Kirchengast, 2010). Analýza dat prokázala významné rozdíly BA u parametrů BFD<sup>SJ</sup> a IPF<sup>K</sup>, kde ženská skupina vykazovala významně nižší hodnoty. Při kontrole vlivu dalších faktorů nezávislé proměnné (věk a druh sportu) výsledky nebyly statisticky významné. Bailey et al. (2015) pozoruje vyšší stupeň BA u vertikálního výskoku CMJ a SJ (u parametru maximální síly; z angl. peak force) u skupiny žen v porovnání s mužskou skupinou (18 – 23 let, SJ –  $3,78 \pm 0,06$  % vs.  $1,95 \pm 0,02$  %; CMJ –  $6,89 \pm 0,08$  % vs.  $4,65 \pm 0,09$  %) různé sportovní specializace (golf, tenis, fotbal, softball a volejbal). Autoři v diskusi uvádí, že tento trend nemusí být generalizovaný pro celou ženskou populaci, protože při komparaci průměru muži vs. ženy bylo až 5 ze 7 hráček s nejvyšší BA ( $> 8$  %) z fotbalového týmu ( $n = 63$ ; ženy = 32, muži = 31). V případě, že by tyto sportovkyně byly vyřazeny z analýzy, rozdíly by byly triviální. Tato zjištění zdůrazňují význam zohlednění dalších faktorů při komparaci hodnot BA v rámci rozlišení pohlaví.

Při posuzování rozdílu UA v rámci pohlaví výsledky prokázaly významné rozdíly se střední velikostí efektu. Skupina mužů dosahovala významně nižší úroveň UA nezávisle na věku, druhu sportu a výkonnostní úrovni v porovnání se skupinou žen. Průměrné hodnoty rozdílů se pohybovaly v rozmezí 4–5 % v závislosti na dominanci a úhlové rychlosti pohybu. Ve shodě s našimi zjištěními je metaanalýza Hewet et al. (2008), která analyzovala celkem 1568 sportovců z 22 studií (1145 mužů a 423 žen ve věku od 12 do 40 let). Rychlosti izokinetického testování se pohybovaly od  $30^\circ/\text{s}$  do  $360^\circ/\text{s}$ . Celkové průměrné poměry H:Q napříč úhlovými rychlostmi (od  $30^\circ/\text{s}$  do  $360^\circ/\text{s}$ .) byly  $51,9 \pm 8,0$  % pro ženy a  $60,7 \pm 9,5$  % pro muže. Tohle zjištění může mít zásadní vliv pro klinické pracovníky, kteří pracují s ženskou skupinou sportovců. Bylo zjištěno, že H:Q poměr (nízká úhlová rychlost) je významným prediktorem zranění zejména u žen, protože odráží silovou nerovnováhu mezi svaly (nedostatečná úroveň svalové síly skupiny flexorů v komparaci s extenzory kolena), která souvisí s vyšším rizikem poranění měkkých tkání, kloubů a svalů (Colak et al., 2012). Hewet et al. (2008) prezentuje, že ženy na rozdíl od mužů nevykazují zvýšení H:Q poměru se stoupající úhlovou rychlostí, což může zvyšovat



riziko zranění z důvodu nedostatečné síly hamstringů při vysoko-intenzivních akcích (decelerace, sprint). Tohle zjištění bylo prokázáno také u naší skupiny, ačkoli to platilo i pro mužskou populaci. Jedním z možných vysvětlení je to, že tenhle rozdíl existuje pouze u dospělých hráčů/hraček a nevztahuje se na dospívající sportovce. Tohle zjištění podtrhuje důležitost pravidelné diagnostiky silové asymetrie v rámci dolních končetin u mladých dospívajících žen a mužů.

### 6.3 Limity výzkumu

Navzdory novým poznatkům, které prokázala naše studie v oblasti bilaterálních a unilaterálních asymetrií ve sportu, je nutné zmínit limity, které nebyly zohledněny /použity:

- Vybrané testy pro zjištění bilaterálních a unilaterálních asymetrií byly zaměřeny pouze na dolní končetiny.
- Studie měla povahu průřezové studie, což bylo kritizováno Helme et al. (2021), kteří poukazují na kolísavost asymetrie v čase tzn. že velikost asymetrie se může měnit v závislosti na působení vnějších stimulů. (objem a intenzita tréninkové zátěže, periodizace ročního tréninkového cyklu, aktuální fyzický a psychický stav sportovce apod.).
- Inkluzivní kritéria zařazovala podmínku pouze minimální dobu specializace v rámci vybraného sportu (> 3 = 10–12 let, > 5 = 13–15 let a 16–18 let), ačkoli nebyla zohledněna přesná délka participace, která mohla více reflektovat adaptaci na specifický trénink ve vybraném sportu.
- Nezhlednění herních specializací v rámci vybraného sportu z důvodu rozdílných požadavků na sportovní výkon (např. brankář vs. střední záložník)
- Rozlišení sportovců na základě chronologického věku mohlo nesprávně kategorizovat vybrané skupiny z důvodu odlišného stupně zrání (tempo a načasování) u chronologicky stejně starých sportovců (Malina et al., 2004).
- Sportovci byli rekrutováni pouze ze dvou nejvyšších výkonnostních stupňů u mládežnické kategorie v České republice (1. a 2. liga) v rámci vybraných sportů. Z pohledu tréninkového objemu a intenzity by se vybrané skupiny mohly lišit pouze minimálně.

- Pro hodnocení vybraných rozdílů byly zvolené statistické postupy, které nezohledňovaly interakci mezi sledovanými rozlišovacími kritérii (Anova/Ancova vs. Manova/Mancova).
- V rámci naší studie nebyly zjišťovány informace ohledně objemu kompenzačních programů, počet specializovaných pracovníků, realizace pravidelné diagnostiky v rámci vybraného sportu, které mohli ovlivnit hodnoty bilaterálních a unilaterálních asymetrií

## 7 ZÁVĚRY PRÁCE

Naše práce měla za cíl objektivizovat maladaptivní efekty ve formě bilaterálních a unilaterálních asymetrií u sportující mládeže. Evaluované asymetrie jsme komparovali v závislosti na druhu sportu (SY, ASY, HY), věkových skupinách (10–12 let, 13–15 let, 16–18 let), na výkonnostní úrovni (elitní vs. sub-elitní) a pohlaví. Na základě cílů práce byly stanovené hypotézy:

H1: Sportovci skupiny ASY budou dosahovat významně vyšší hodnoty bilaterální asymetrie u extenzorů a flexorů kolene v komparaci se sportovci SY a HY ( $p < 0,05$ ). Hypotéza 1 **nebyla potvrzena**, protože sportovci ASY dosahovali významně nižší hodnoty BA u parametrů  $H:H^{180}$  v porovnání se sportovci SY a ASY.

H2: Sportovci HY budou dosahovat významně nižší hodnoty unilaterální asymetrie (vyšší H:Q poměr) v porovnání se skupinou sportovců SY a ASY ( $p < 0,05$ ). Hypotéza 2 **byla potvrzena**, protože významně vyšší hodnoty u všech parametrů UA zaznamenali sportovci HY v porovnání se skupinou ASY a SY.

H3: Sportovci nejstarší věkové skupiny (16–18 let) budou dosahovat významně nižších hodnot bilaterálních asymetrií extenzorů a flexorů kolene v komparaci s mladšími věkovými skupinami (13–15 let a 10–12 let) ( $p < 0,05$ ). Hypotéza 3 **nebyla potvrzena**, protože výsledky prokázaly významně nižší hodnoty pouze u BA extenzorů kolena ( $Q:Q^{180}$  a  $Q:Q^{300}$ ) a maximální síle při odrazové fázi běhu u obou rychlostech ( $APF^Z$ ,  $APF^K$ ), navíc pouze v komparaci s nejmladší věkovou skupinou 10–12 let.

H4: Předpokládáme „nezávislost“ mezi sledovanými asymetriemi z hlediska druhu (morfologická vs. silová) s malou velikostí efektu ( $r \leq 0,3$ ). Hypotéza 4 **byla potvrzená**, protože míra asociace mezi morfologickou a silovou asymetrií byla triviální ( $r < 0,10$ ).

H5: Sportovci mužské skupiny budou dosahovat významně nižší hodnoty unilaterální asymetrie v porovnání se skupinou žen ( $p < 0,05$ ). Hypotéza 5 **byla potvrzena**, protože významně vyšší hodnoty H:Q poměru u všech parametrů UA zaznamenala skupina mužů v porovnání s ženskou skupinou.

## Hlavní zjištění výzkumu:

- Průměrné hodnoty bilaterálních asymetrií napříč všemi sledovanými parametry vyjádřené v relativních hodnotách (%) byly v souladu s arbitrárními prahy ( $< 15\%$ ) s výjimkou parametru posturální stability (APS).
- V celkovém analyzovaném vzorku bylo 38–91,4 % sportovců identifikováno s nevýznamnou asymetrií ( $< 10\%$ ), 6,6–18,7 % sportovců se zvýšenou asymetrií (10–15 %) a významnou asymetrií ( $> 15\%$ ) dosahovalo 2,0–43,9 % sportovců v závislosti na konkrétním testu. V kontextu zvýšení rizika zranění u bilaterálních asymetrií nad 10–15 % je vhodné hodnotit asymetrie individuálně, protože při vyjádření průměrné hodnoty skupiny mohou zanikat vysoké inter-individuální odlišnosti, což potvrzuje vysoký počet sportovců se zvýšenou či významnou asymetrií.
- Směřovost bilaterální asymetrie vykazovala mírnou tendenci směru v prospěch dominantní dolní končetiny, ačkoli to neplatilo pro všechny testy (v 13 případech z 16 parametrů). U bilaterální asymetrie extenzorů kolena ve všech úhlových rychlostech, vyšší počet hráčů vykazoval směr bilaterální asymetrie v prospěch nedominantní dolní končetiny.
- Závislost mezi asymetriemi z hlediska druhu prokázala pouze triviální až malou velikost vztahu ( $r < 0,3$ ) pro všechny sledované parametry
- Z hlediska meziskupinových rozdílů v reflexi druhu sportu pozorujeme pouze několik statisticky významných rozdílů, ačkoli velikost efektu byla malá až střední. Tohle zjištění naznačuje, že u velikosti bilaterální asymetrie nehraje významnou roli výběr sportovní disciplíny. U parametrů unilaterální asymetrie jsme zaznamenali signifikantně vyšší hodnoty H:Q poměru u všech úhlových rychlostí pohybu pro obě končetiny u skupiny sportovců HY v porovnání se skupinou SY a ASY.
- Signifikantně nižší hodnoty u parametru  $Q:Q^{180}$ ,  $Q:Q^{300}$ ,  $APF^Z$ ,  $APF^K$  zaznamenali sportovci nejstarší věkové kategorie v porovnání s kategorií 10–12 let s malou až střední velikostí efektu.
- Z hlediska výkonnostní úrovně sportovců (první dva výkonnostní stupně) nebyly prokázány významné rozdíly u bilaterálních a unilaterálních asymetrií s výjimkou parametru  $H:H^{180}$ , kde významně nižších hodnot dosahovali sportovci elitní skupiny, ačkoli velikost efektu byla malá.

- Z hlediska rozlišovacího kritéria pohlaví byly zjištěné významné rozdíly bilaterální asymetrie u parametru maximální síly během odrazové fázi běhu ( $APF^Z$ ), ačkoli s malou velikostí efektu. U parametrů unilaterální asymetrie jsme zaznamenali signifikantně vyšší hodnoty H:Q poměru u všech úhlových rychlostí pro obě končetiny u skupiny mužů v porovnání s ženskou skupinou.
- Výsledky vícenásobné lineární regrese prokázaly pomocí nezávislých proměnných vysvětlit variabilitu hodnot u bilaterálních asymetrií pouze z 0,6–3,3 % a unilaterálních asymetrií v rozmezí 4,2–12,3 %.

### **Orientace a doporučení pro budoucí studie:**

- Budoucí studie by měly při seskupování sportů z pohledu asymetrických úkolů při realizaci sportovně specifických pohybů zvážit také objem a četnost těchto projevů ve vybrané sportovní disciplíně. Dále je vhodné sledovat zastoupení asymetrických projevů s ohledem na lokaci, kde se pohyb vykonává (horní vs. dolní polovina těla) a rozlišit herní pozice v rámci jednoho sportu (smečař vs. libero), protože se to zdá být zásadní při kategorizaci sportovců.
- U mladých sportovců, kteří podléhají ontogenetickému vývoji, je vhodné hodnotit také stav maturity (pomocí invazivních či neinvazivních metod), který by mohl lépe reflektovat stupeň fyzického vývoje v porovnání s chronologickým věkem.
- Předložený výzkum zkoumal rozdíly v úrovni bilaterální a unilaterální asymetrie pouze u prvních dvou výkonnostních stupňů v mládežnických kategoriích (1. a 2. liga). Zařazení dalších výkonnostních stupňů (amatérská a rekreační úroveň) by mohlo lépe reflektovat rozdílnost v úrovni bilaterálních a unilaterálních asymetrií v rámci výkonnostní úrovně sportovců.
- Design studie měl povahu průřezové studie, což bylo kritizováno Helme et al. (2021), kteří poukazují na kolísavost asymetrie z důvodu vlivu prostředí. Longitudinální sledování v průběhu ontogeneze u různých sportů by mohlo poukázat na vývoj asymetrie v čase a její vztah v průběhu jednotlivých věkových období vzhledem k vybrané sportovní specializaci.
- Pro objasnění významu asymetrie ve sportu je nutné prokázat její vztah ke sportovnímu výkonu či výskytu zranění (velikost a směr asymetrie vs. výskyt budoucích zranění vs. výkony v jednotlivých testech).

## Doporučení do praxe:

Prezentované hodnoty bilaterálních a unilaterálních asymetrií by mohly sloužit jako orientační hodnoty pro nezraněné hráče v závislosti na výběru sportu, chronologickém věku, výkonnostní úrovni a pohlaví sportovců. Z našich zjištění vyplývá také doporučení a význam pro klinickou praxi, zejména pro mládežnické kategorie:

- Hodnocení velikosti bilaterálních asymetrií by mělo být prováděné na individuální úrovni z důvodu vysokého počtu hráčů, kteří byli identifikováni se zvýšenou (10–15 %) či významnou bilaterální asymetrií (> 15 %). Průměrné hodnoty vybraných skupin (< 15 %) můžou klamně naznačovat, že se zvýšené asymetrie ve sportu nevyskytují, což nereflektuje potřeby všech sportovců v rámci skupiny.
- Vyhodnocování směru bilaterálních asymetrií prokázalo nekonzistentnost směru k dominantní či nedominantní dolní končetině vzhledem k výběru testu. Tohle zjištění má zásadní vliv pro návrh pohybové intervence v kontextu snižování bilaterálních asymetrií a eliminace rizika zranění.
- Z hlediska hodnocení unilaterálních asymetrií pomocí H:Q poměru byly prokázány zvýšené asymetrie (H:Q poměr < 55 %) u skupiny sportů ASY, HY. Tohle zjištění bylo prokázáno také u skupiny žen bez ohledu na druh sportu, věk a výkonnostní úroveň. Trenéři vybraných druhů sportů zejména u skupiny žen by měli zvážit zařazení více cvičení v rámci tréninkového procesu pro zlepšení svalové síly skupiny flexorů kolene. Důvodem je jejich primární role při vysoce intenzivních činnostech, jako jsou decelerace či běh ve vysoké intenzitě, kde nedostatečná úroveň svalové síly flexorů kolena nemusí být dostačující pro stabilizaci kolenního kloubu.
- Závislost mezi sledovanými asymetriemi prokázala pouze minimální míru asociace s ohledem na druh asymetrie (stejná metodika měření). V rámci tohoto kontextu by se měla zjištěná asymetrie posuzovat „nezávisle“ a pro praktické účely by se měl vybírat test, který má vyšší shodu s vybraným sportovním úkolem.

## 8 REFERENCE

- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Trolle, M., Bangsbo, J., & Klausen, K. (1995). Isokinetic hamstring/quadriceps strength ratio: influence from joint angular velocity, gravity correction and contraction mode. *Acta Physiologica Scandinavica*, *154*(4), 421-427.
- Alin, A. (2010). Multicollinearity. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, *2*(3), 370–374.
- Arkesteijn, M., Jobson, S. A., Hopker, J., & Passfield, L. (2013). Effect of gradient on cycling gross efficiency and technique. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *45*(5), 920–926.
- Arnold, R., & Fletcher, D. (2012). A research synthesis and taxonomic classification of the organizational stressors encountered by sport performers. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *34*(3), 397–429.
- Aßmann, C., & Hermanussen, M. (2013). Modeling determinants of growth: evidence for a community-based target in height? *Pediatric Research*, *74*(1), 88–95.
- Attwood, M., Roberts, S., Trewartha, G., England, M., & Stokes, K. (2019). Association of the Functional Movement Screen™ with match-injury burden in men’s community rugby union. *Journal of Sports Sciences*, *37*(12), 1365–1374.
- Auerbach, B. M., & Ruff, C. B. (2006). Limb bone bilateral asymmetry: variability and commonality among modern humans. *Journal of Human Evolution*, *50*(2), 203–218.
- Bahr, R., & Holme, I. (2003). Risk factors for sports injuries—a methodological approach. *British Journal of Sports Medicine*, *37*(5), 384-392.
- Bahr, R., Clarsen, B., & Ekstrand, J. (2018). Why we should focus on the burden of injuries and illnesses, not just their incidence. *British Journal of Sports Medicine*, *52*(16), 1018-1021.
- Bailey, C. A., Sato, K., Burnett, A., & Stone, M. H. (2015). Force-production asymmetry in male and female athletes of differing strength levels. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *10*(4), 504–508.
- Baker, J., Yardley, J., & Cote, J. (2003). Coach behaviors and athlete satisfaction in team and individual sports. *International Journal of Sport Psychology*, *34*, 226–239.

- Baker, J., Cobley, S., & Fraser-Thomas, J. (2009). What do we know about early sport specialization? Not much! *High Ability Studies*, 20(1), 77–89.
- Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of Sports Sciences*, 24(7), 665–674.
- Bangsbo, J. (2015). Performance in sports—With specific emphasis on the effect of intensified training. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25(S4), 88–99.
- Barrera-Domínguez, F. J., Carmona-Gómez, A., Tornero-Quiñones, I., Sáez-Padilla, J., Sierra-Robles, Á., & Molina-López, J. (2021). Influence of dynamic balance on jumping-based asymmetries in team sport: A between-sports comparison in basketball and handball athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1866.
- Barnes, C., Archer, D. T., Hogg, B., Bush, M., & Bradley, P. (2014). The evolution of physical and technical performance parameters in the English Premier League. *International journal of sports medicine*, 35(13), 1095-1100.
- Baroni, B. M., Ruas, C. V., Ribeiro-Alvares, J. B., & Pinto, R. S. (2020). Hamstring-to-quadriceps torque ratios of professional male soccer players: A systematic review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(1), 281-293.
- Bell, D. R., Sanfilippo, J. L., Binkley, N., & Heiderscheit, B. C. (2014). Lean mass asymmetry influences force and power asymmetry during jumping in collegiate athletes. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(4), 884.
- Benjanuvatra, N., Lay, B. S., Alderson, J. A., & Blanksby, B. A. (2013). Comparison of ground reaction force asymmetry in one-and two-legged countermovement jumps. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(10), 2700–2707.
- Beunen, G., & Malina, R. M. (2008). Growth and Biologic Maturation: Relevance to Athletic Performance. *The Young Athlete*, 1, 3–17.
- Bini, R., Diefenthaler, F., Carpes, F., & Mota, C. B. (2007, December). External work bilateral symmetry during incremental cycling exercise. *In ISBS-Conference Proceedings Archive*.



- Bini, R. R., & Hume, P. A. (2014). Assessment of bilateral asymmetry in cycling using a commercial instrumented crank system and instrumented pedals. *International journal of sports physiology and performance*, 9(5), 876-881.
- Bishop, C., Read, P., Chavda, S., & Turner, A. (2016). Asymmetries of the Lower Limb: The Calculation Conundrum in Strength Training and Conditioning. *Strength & Conditioning Journal*, 38(6), 27–32.
- Bishop, C., Read, P., Chavda, S., Jarvis, P., & Turner, A. (2019). Using Unilateral Strength, Power and Reactive Strength Tests to Detect the Magnitude and Direction of Asymmetry: A Test-Retest Design. *Sports*, 7(3), 58.
- Bishop, C., Turner, A. N., Gonzalo-Skok, O., & Read, P. (2020). Inter-limb asymmetry during rehabilitation understanding formulas and monitoring the " magnitude" and " direction". *Aspetar Sports Medicine Journal*, 9(1), 18–22.
- Bishop, C., Read, P., McCubbine, J., & Turner, A. (2021). Vertical and horizontal asymmetries are related to slower sprinting and jump performance in elite youth female soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 35(1), 56-63.
- Bishop, C., Read, P., Chavda, S., Jarvis, P., Brazier, J., Bromley, T., & Turner, A. (2022). Magnitude or Direction? Seasonal Variation of Interlimb Asymmetry in Elite Academy Soccer Players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 36(4), 1031–1037.
- Blake, G. M., & Fogelman, I. (2007). The role of DXA bone density scans in the diagnosis and treatment of osteoporosis. *Postgraduate Medical Journal*, 83(982), 509–517.
- Bogin, B. (2015). Human Growth and Development. In M. P. Meuhlenbein (Ed.), *Basics in Human Evolution* (pp. 285–293). Academic Press.
- Brenner, J. S. (2016). Council on Sports Medicine and Fitness. Sports specialization and intensive training in young athletes. *Pediatrics*, 138(3), e20162148.
- Brighenti, A., Noé, F., Stella, F., Schena, F., & Mourrot, L. (2022). Warm-Up Improves Balance Control Differently in the Dominant and Non-Dominant Leg in Young Sportsmen According to Their Experience in Asymmetric or Symmetric Sports. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(8), 4562.
- Brumitt, J., Heiderscheit, B. C., Manske, R. C., Niemuth, P. E., & Rauh, M. J. (2013). Lower extremity functional tests and risk of injury in division iii collegiate athletes. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 8(3), 216.

- Butler, R. J., Bullock, G., Arnold, T., Plisky, P., & Queen, R. (2016). Competition-Level Differences on the Lower Quarter Y-Balance Test in Baseball Players. *Journal of Athletic Training, 51*(12), 997–1002.
- Carpes, F., Rossato, M., Faria, I., & Mota, C. B. (2007). During a simulated 40-km cycling time-trial. *Journal Sports Medicine Physical Fitness, 47*(1), 51-57.
- Ciacci, S., Di Michele, R., Fantozzi, S., & Merni, F. (2013). Assessment of kinematic asymmetry for reduction of hamstring injury risk. *International Journal of Athletic Therapy and Training, 18*(6), 18-23.
- Cigali, B. S., Ulucam, E., Yilmaz, A., & Cakiroglu, M. (2004). Comparison of asymmetries in ground reaction force patterns between normal human gait and football players. *Biology of Sport, 21*(3), 241-248.
- Clark, R. A., Bryant, A. L., Pua, Y., McCrory, P., Bennell, K., & Hunt, M. (2010). Validity and reliability of the Nintendo Wii Balance Board for assessment of standing balance. *Gait & posture, 31*(3), 307-310.
- Cleary, M. A., Sadowski, K. A., Lee, S. Y., Miller, G. L., & Nichols, A. W. (2011). Exertional rhabdomyolysis in an adolescent athlete during preseason conditioning: a perfect storm. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 25*(12), 3506–3513.
- Clemente, F. M., Owen, A., Serra-Olivares, J., Nikolaidis, P. T., Van Der Linden, C. M., & Mendes, B. (2019). Characterization of the weekly external load profile of professional soccer teams from Portugal and the Netherlands. *Journal of human kinetics, 66*(1), 155-164.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*, 2nd edn. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cohen, J. (1992). Statistics a Power Primer. *Psychology Bulletin, 112*(1), 115–159.
- Colak, S. (2012). Effects of dynamic stretches on isokinetic hamstring and quadriceps femoris muscle strength in elite female soccer players. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation, 34*(2), 15-25.
- Cometti, G., Maffiuletti, N. A., Pousson, M., Chatard, J. C., & Maffulli, N. (2001). Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *International Journal of Sports Medicine, 22*(1), 45–51.

- Coratella, G., Beato, M., & Schena, F. (2018). Correlation between quadriceps and hamstrings inter-limb strength asymmetry with change of direction and sprint in U21 elite soccer-players. *Human movement science*, 59, 81-87.
- Côté, J., Baker, J., & Abernethy, B. (2007). Practice and play in the development of sport expertise. *Handbook of Sport Psychology*, 3(1), 184–202.
- Côté, J., Horton, S., Macdonald, D., & Wilkes, S. (2009). The benefits of sampling sports during childhood. *Physical & Health Education Journal*, 74(4), 6–11.
- Croisier, J. L., Ganteaume, S., Binet, J., Genty, M., & Ferret, J. M. (2008). Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study. *The American Journal of Sports Medicine*, 36(8), 1469–1475.
- Cumming, S. P., Patel, T. S., & Malina, R. M. (2021). The Assessment and consideration of growth and maturation in youth athletes. In V. Lopez, P. Hidalgo & M. Pons (Eds.), *Nuevas tendencias en el desarrollo del talento deportivo* (p. 33). University of Bath.
- Český statistický úřad. (2021). *Statistika sportu: Základní ukazatele*. <https://www.czso.cz/documents/10180/161287478/09001621k5.pdf/f2e0af5a-8e3c-4fd5-ac97-f9701f2e95f8?version=1.1>
- Daneshjoo, A., Rahnama, N., Mokhtar, A. H., & Yusof, A. (2013). Bilateral and unilateral asymmetries of isokinetic strength and flexibility in male young professional soccer players. *Journal of Human Kinetics*, 36(1), 45–53.
- Dauty, M., Potiron-Josse, M., & Rochcongar, P. (2003). Identification of previous hamstring muscle injury by isokinetic concentric and eccentric torque measurement in elite soccer player. *Isokinetics and Exercise Science*, 11(3), 139-144.
- Dauty, M., Menu, P., Fouasson-Chailloux, A., Ferréol, S., & Dubois, C. (2016). Prediction of hamstring injury in professional soccer players by isokinetic measurements. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*, 6(1), 116.
- Deakin, J. M., & Cobley, S. (2003). A search for deliberate practice--An examination of the practice environments in figure skating and volleyball. In J. L. Starkes & K. A. Ericsson (Eds.), *Expert performance in sports: Advances in research on sport expertise* (pp. 115–136). Champaign, IL: Human Kinetics.

- Dellagrana, R. A., Diefenthaler, F., Carpes, F. P., Hernandez, S. G., & de Campos, W. (2015). Evidence for isokinetic knee torque asymmetries in male long distance-trained runners. *International Journal of Sports Physical Therapy*, *10*(4), 514–519.
- De Ste Croix, M. B., Deighan, M. A., & Armstrong, N. (2003). Assessment and interpretation of isokinetic muscle strength during growth and maturation. *Sports medicine*, *33*, 727-743.
- De Ste Croix, M. B. (2007). Advances in paediatric strength assessment: changing our perspective on strength development. *Journal of sports science & medicine*, *6*(3), 292.
- Dos Santos, K. B., Pereira, G., Papoti, M., Bento, P. C. B., & Rodacki, A. (2013). Propulsive Force Asymmetry during Tethered-Swimming. *International Journal of Sports Medicine*, *34*(7), 606–611.
- Dovalil, J., Choutka, M., Hošek, V., Perič, T., Potměšil, J., Vránová, J., & Bunc, V. (2002). *Výkon a trénink ve sportu*. Praha: Olympia.
- Dovalil, J., & Choutka, M. (2010). *Sportovní trénink*. Grada Publishing.
- Ducher, G., Courteix, D., Meme, S., Magni, C., Viala, J., & Benhamou, C. (2005). Bone geometry in response to long-term tennis playing and its relationship with muscle volume: a quantitative magnetic resonance imaging study in tennis players. *Bone*, *37*(4), 457–466.
- Eisenmann, J. C., Till, K., & Baker, J. (2020). Growth, maturation and youth sports: issues and practical solutions. *Annals of Human Biology*, *47*(4), 324–327.
- Ermiş, E., Yilmaz, A. K., Kabadayi, M., Bostanci, Ö., & Mayda, M. H. (2019). Bilateral and ipsilateral peak torque of quadriceps and hamstring muscles in elite judokas. *Journal of musculoskeletal & neuronal interactions*, *19*(3), 286.
- Exell, T. A., Irwin, G., Gittoes, M. J., & Kerwin, D. G. (2012). Implications of intra-limb variability on asymmetry analyses. *Journal of Sports Sciences*, *30*(4), 403–409.
- Falkner, F. (2013). *Human Growth: 2 Postnatal Growth*. Springer.
- Ferguson, B., & Stern, P. J. (2014). A case of early sports specialization in an adolescent athlete. *The Journal of the Canadian Chiropractic Association*, *58*(4), 377–383.
- Filipic, A., Cuk, I., & Filipic, T. (2016). Lateral Asymmetry in Upper and Lower Limb Bioelectrical Impedance Analysis in Youth Tennis Players. *International Journal of Morphology*, *34*(3), 890–895.

- Forbes, H., Sutcliffe, S., Lovell, A., McNaughton, L. R., & Siegler, J. C. (2009). Isokinetic thigh muscle ratios in youth football: effect of age and dominance. *International Journal of Sports Medicine*, 30(8), 602–606.
- Ford, P. R., & Williams, A. M. (2017). Sport activity in childhood: Early specialization and diversification. In J. Baker, S. Cobley, J. Schorer & N. Wattie, *Routledge Handbook of Talent Identification and Development in Sport* (pp. 116–132). Routledge.
- Ford, P., De Ste Croix, M., Lloyd, R., Meyers, R., Moosavi, M., Oliver, J., Till, K., & Williams, C. (2011). The long-term athlete development model: Physiological evidence and application. *Journal of Sports Sciences*, 29(4), 389–402.
- Fort-Vanmeerhaeghe, A., Gual, G., Romero-Rodriguez, D., & Unnitha, V. (2016). Lower limb neuromuscular asymmetry in volleyball and basketball players. *Journal of Human Kinetics*, 50(1), 135–143.
- Fousekis, K., Tsepis, E., & Vagenas, G. (2010). Lower limb strength in professional soccer players: profile, asymmetry, and training age. *Journal of Sports Science & Medicine*, 9(3), 364.
- Fuller, C. W., Junge, A., & Dvorak, J. (2012). Risk management: FIFA's approach for protecting the health of football players. *British Journal of Sports Medicine*, 46(1), 11–17.
- Furlong, L. A., & Egginton, N. L. (2018). Kinetic asymmetry during running at preferred and non-preferred speeds. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 50(6), 1241–1248.
- Gabbett, T. J. (2006). Performance changes following a field conditioning program in junior and senior rugby league players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(1), 215–221.
- Gabbett, T. J. (2016). The training—injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine*, 50(5), 273–280.
- García-López, J., Díez-Leal, S., Larrazabal, J., & Ogueta-Alday, A. (2015). No bilateral asymmetry during pedalling in healthy cyclists of different performance levels. In F. Colloud, M. Domalain & T. Monnet (Eds.), *33rd International Conference on Biomechanics in Sports* (pp. 904–907). ISBS.
- Gardiner, S., Welch, R., Boyes, S., & Naidoo, U. (2012). *Sports law*. Routledge.

- Gejl, K. D., Thams, B. L., Hansen, M., Rokkedal-Lausch, T., Plomgaard, P., Nybo, L., Larsen, F. J., Cardinale, D. A., Jensen, K., Holmberg, H. C., Vissing, K., & Ørtenblad, N. (2017). No Superior Adaptations to Carbohydrate Periodization in Elite Endurance Athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *49*(12), 2486–2497.
- Girard, O., Morin, J. B., Ryu, J., Read, P., & Townsend, N. (2019). Running velocity does not influence lower limb mechanical asymmetry. *Frontiers in Sports and Active Living*, *1*, 36.
- Gokeler, A., Welling, W., Zaffagnini, S., Seil, R., & Padua, D. (2017). Development of a test battery to enhance safe return to sports after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, *25*(1), 192–199.
- Gould, D. (2010). Early sport specialization: A psychological perspective. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, *81*(8), 33–37.
- Grandou, C., Wallace, L., Coutts, A. J., Bell, L., & Impellizzeri, F. M. (2020). Symptoms of overtraining in resistance exercise: international cross-sectional survey. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *16*(1), 80–89.
- Guan, Y., Bredin, S., Taunton, J., Jiang, Q., Wu, L., Kaufman, K., Wu, N., & Warburton, D. (2021). Bilateral difference between lower limbs in children practicing laterally dominant vs. non-laterally dominant sports. *European Journal of Sport Science*, *21*(8), 1092–1100.
- Guiard, Y. (1987). Asymmetric division of labor in human skilled bimanual action: The kinematic chain as a model. *Journal of Motor Behavior*, *19*(4), 486–517.
- Gulgin, H., Armstrong, C., & Gribble, P. (2009). Hip rotational velocities during the full golf swing. *Journal of sports science & medicine*, *8*(2), 296.
- Hadzic, V., Sattler, T., Veselko, M., Markovic, G., & Dervisevic, E. (2014). Strength asymmetry of the shoulders in elite volleyball players. *Journal of Athletic Training*, *49*(3), 338–344.
- Hank, M., Maly, T., Zahálka, F., Novotny, D., Gryc, T., & Hrásky, P. (2019). Movement direction analysis in elite indoor Volleyball match. *Acta Kinesiol*, *13*, 22–28.
- Harbili, S., Harbili, E., & Aslankeser, Z. (2022). Comparison of bilateral isokinetic and isometric strength differences in elite young male and female taekwondo athletes. *Journal of Exercise Rehabilitation*, *18*(2), 117–122.

- Harriss, D. J., Macsween, A., & Atkinson, G. (2017). Standards for ethics in sport and exercise science research: 2018 Update. *International Journal of Sports Medicine*, 38(14), 1126–1131.
- Hart, N. H., Nimphius, S., Weber, J., Spiteri, T., Rantalainen, T., Dobbin, M., & Newton, R. U. (2016). Musculoskeletal asymmetry in football athletes: A product of limb function over time. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(7), 1379–1387
- Helme, M., Tee, J., Emmonds, S., & Low, C. (2021). Does lower-limb asymmetry increase injury risk in sport? A systematic review. *Physical Therapy in Sport*, 49, 204–213.
- Hewett, T. E., Myer, G. D., & Ford, K. R. (2004). Decrease in neuromuscular control about the knee with maturation in female athletes. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 86(8), 1601–1608.
- Hewett, T. E., Myer, G. D., & Zazulak, B. T. (2008). Hamstrings to quadriceps peak torque ratios diverge between sexes with increasing isokinetic angular velocity. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11(5), 452–459.
- Hollenstein, T., & Loughheed, J. P. (2013). Beyond Storm and Stress: Typicality, Transactions, Timing, and Temperament to Account for Adolescent Change. *American Psychologist*, 68(6), 444–454.
- Holling, M. J., Miller, S. T., & Geeslin, A. G. (2022). Rehabilitation and return to sport after arthroscopic treatment of femoroacetabular impingement: a review of the recent literature and discussion of advanced rehabilitation techniques for athletes. *Arthroscopy, Sports Medicine, and Rehabilitation*, 4(1), e125–e132.
- Hopkins, W. G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Medicine*, 30(1), 1–15.
- Horn, T. S. (2015). Social psychological and developmental perspectives on early sport specialization. *Kinesiology Review*, 4(3), 248–266.
- Chalmers, S., Fuller, J. T., Debenedictis, T. A., Townsley, S., Lynagh, M., Gleeson, C., Zacharia, A., Thomson, S., & Magarey, M. (2017). Asymmetry during preseason Functional Movement Screen testing is associated with injury during a junior Australian football season. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(7), 653–657.

- Chamari, K., & Padulo, J. (2015). 'Aerobic' and 'Anaerobic' terms used in exercise physiology: a critical terminology reflection. *Sports Medicine-Open*, 1, 1–4.
- Chapelle, L., Bishop, C., D'Hondt, J., D'Hondt, E., & Clarys, P. (2022). Morphological and functional asymmetry in elite youth tennis players compared to sex- and age-matched controls. *Journal of Sports Sciences*, 40(14), 1618–1628.
- Iga, J., George, K., Lees, A., & Reilly, T. (2009). Cross-sectional investigation of indices of isokinetic leg strength in youth soccer players and untrained individuals. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 19(5), 714–719.
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Maffiuletti, N., & Marcora, S. M. (2007). A Vertical Jump Force Test for Assessing Bilateral Strength Asymmetry in Athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(11), 2044–2050.
- Impellizzeri, F. M., Bizzini, M., Rampinini, E., Cereda, F., & Maffiuletti, N. A. (2008). Reliability of isokinetic strength imbalance ratios measured using the Cybex NORM dynamometer. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 28(2), 113–119.
- Ishøi, L., Krommes, K., Nielsen, M. F., Thornton, K. B., Hölmich, P., Aagaard, P., & Thorborg, K. (2021). Hamstring and quadriceps muscle strength in youth to senior elite soccer: a cross-sectional study including 125 players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(10), 1538–1544.
- Ithurburn, M. P., Paterno, M. V., Ford, K. R., Hewett, T. E., & Schmitt, L. C. (2015). Young athletes with quadriceps femoris strength asymmetry at return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction demonstrate asymmetric single-leg drop-landing mechanics. *The American Journal of Sports Medicine*, 43(11), 2727–2737.
- Jauhiainen, S., Kauppi, J. P., Leppänen, M., Pasanen, K., Parkkari, J., Vasankari, T., Kannus, P., & Äyrämö, S. (2021). New machine learning approach for detection of injury risk factors in young team sport athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 42(2), 175–182.
- Javaloyes, A., Mateo-March, M., Carpes, F. P., Moya-Ramon, M., Lopez-Grueso, R., & Zabala, M. (2021). Bilateral asymmetries in professional cyclists during a Grand Tour. *Isokinetics and Exercise Science*, 29(4), 455–461.



- Jayanthi, N., Dechert, A., Durazo, R., Dugas, L., & Luke, A. (2011). Training and sports specialization risks in junior elite tennis players. *Journal of Medicine and Science in Tennis*, 16(1), 14–20.
- Jayanthi, N., Pinkham, C., Dugas, L., Patrick, B., & Labella, C. (2013). Sports specialization in young athletes: evidence-based recommendations. *Sports Health*, 5(3), 251–257.
- Jayanthi, N. A., Labella, C. R., Fischer, D., Pasulka, J., & Dugas, L. R. (2015). Sports-specialized intensive training and the risk of injury in young athletes: a clinical case-control study. *The American Journal of Sports Medicine*, 43(4), 794–801.
- Jayanthi, N., Kleithernes, S., Dugas, L., Pasulka, J., Iqbal, S., & Labella, C. (2020). Risk of Injuries Associated With Sport Specialization and Intense Training Patterns in Young Athletes: A Longitudinal Clinical Case-Control Study. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 8(6).
- Jayanthi, N., Schley, S., Cumming, S. P., Myer, G. D., Saffel, H., Hartwig, T., & Gabbett, T. J. (2022). Developmental Training Model for the Sport Specialized Youth Athlete: A Dynamic Strategy for Individualizing Load-Response During Maturation. *Sports Health*, 14(1), 142–153.
- Jia, P., & Zhang, M. (2022). Effects of functional training on proprioception in sport athletes. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 28(6), 672–675.
- Jiang, X., Chen, H., Sun, D., Baker, J. S., & Gu, Y. (2021). Running speed does not influence the asymmetry of kinematic variables of the lower limb joints in novice runners. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 23(1), 69–81.
- Johnson, A. (2015). Monitoring the immature athlete. *Aspetar Sports Medicine Journal*, 1, 114–118.
- Jordan, M. J., Aagaard, P., & Herzog, W. (2017). Anterior cruciate ligament injury/reinjury in alpine ski racing: a narrative review. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 30(8), 71–83.
- Juzwiak, C. R., Amancio, O. M. S., Vitalle, M. S. S., Pinheiro, M. M., & Szejnfeld, V. L. (2008). Body composition and nutritional profile of male adolescent tennis players. *Journal of Sports Sciences*, 26(11), 1209–1217

- Kabiri, L. S., Hernandez, D. C., & Mitchell, K. (2015). Reliability, validity, and diagnostic value of a pediatric bioelectrical impedance analysis scale. *Childhood Obesity, 11*(5), 650–655.
- Kadri, M. A., Noé, F., Maitre, J., Maffulli, N., & Paillard, T. (2021). Effects of limb dominance on postural balance in sportsmen practicing symmetric and asymmetric sports: A pilot study. *Symmetry, 13*(11), 2199.
- Kalata, M., Malý, T., Hank, M., Michálek, J., Bujnovsky, D., Kunzmann, E., & Zahálka, F. (2020). Unilateral and bilateral strength asymmetry among young elite athletes of various sports. *Medicina, 56*(12), 683.
- Kalata, M., Hank, M., Bujnovsky, D., Michalek, J., Varjan, M., Kunzmann, E., Zahálka, F., & Malý, T. (2021). Bilateral Strength Asymmetry in Elite Youth Soccer Players: Differences between Age Categories. *Symmetry, 13*(11), 1982.
- Kalata, M., Varjan, M., Hank, M., Mala, L., Imal, O., & Marketin, J. (2023). Elite and Sub-elite Youth Soccer Players Show no Difference in Vertical Jump Performance. *Sport Mont, 21*(1), 43–47.
- Keeley, D. W., Plummer, H. A., & Oliver, G. D. (2011). Predicting asymmetrical lower extremity strength deficits in college-aged men and women using common horizontal and vertical power field tests: A possible screening mechanism. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 25*(6), 1632–1637.
- Kellis, E. (1998). Quantification of quadriceps and hamstring antagonist activity. *Sports Medicine, 25*(1), 37–62.
- Kellis, E., Sahinis, C., & Baltzopoulos, V. (2022). Is hamstrings-to-quadriceps torque ratio useful for predicting anterior cruciate ligament and hamstring injuries? A systematic and critical review. *Journal of Sport and Health Science, 12*(3), 343–358.
- Kirby, K. A. (2017). Longitudinal arch load-sharing system of the foot. *Revista Española de Podología, 28*(1), e18–e26.
- Kirchengast, S. (2010). Gender differences in body composition from childhood to old age: an evolutionary point of view. *Journal of Life Sciences, 2*(1), 1-10.
- Kliethermes, S. A., Nagle, K., Côté, J., Malina, R. M., Faigenbaum, A., Watson, A., Feeley, B., Marshallm S. W., LaBella, R. C., Herman, C. D., Tenforde, A., Beutler, I. A., & Jayanthi, N. (2020). Impact of youth sports specialisation on career and task-specific

athletic performance: a systematic review following the American Medical Society for Sports Medicine (AMSSM) Collaborative Research Network's 2019 Youth Early Sport Specialisation Summit. *British Journal of Sports Medicine*, 54(4), 221–30.

Knapik, J. J., Bauman, C. L., Jones, B. H., Harris, J. M., & Vaughan, L. (1991). Preseason strength and flexibility imbalances associated with athletic injuries in female collegiate athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 19(1), 76–81.

Kobayashi, Y., Kubo, J., Matsubayashi, T., Matsuo, A., Kobayashi, K., & Ishii, N. (2013). Relationship between bilateral differences in single-leg jumps and asymmetry in isokinetic knee strength. *Journal of Applied Biomechanics*, 29(1), 61–67.

Kozinc, Ž., & Šarabon, N. (2020). Inter-limb asymmetries in volleyball players: Differences between testing approaches and association with performance. *Journal of Sports Science & Medicine*, 19(4), 745–752.

Kozinc, Ž., Marković, G., Hadžić, V., & Šarabon, N. (2021). Relationship between force-velocity-power profiles and inter-limb asymmetries obtained during unilateral vertical jumping and single-joint isokinetic tasks. *Journal of Sports Sciences*, 39(3), 248–258.

Krejčířová, D., & Langmeier, J. (2006). *Vývojová psychologie*. Grada Publishing.

Krištofič, J., Malý, T., & Zahálka, F. (2018). The effect of intervention balance program on postural stability. *Science of Gymnastics Journal*, 10(1), 17–28.

Krzykała, M., Karpowicz, M., Strzelczyk, R., Pluta, B., Podciechowska, K., & Karpowicz, K. (2020). Morphological asymmetry, sex and dominant somatotype among Polish youth. *PloS One*, 15(9), e0238706.

Krzykała, M., Karpowicz, K., Karpowicz, M., Bartkowiak, S., Demuth, A., Czerniak, U., & Janowski, J. (2023). Somatic characteristic, morphological asymmetry and postural stability of youth male canoeists compared to control. A cross-sectional study. *PloS One*, 18(5), e0285997.

Kučera, M., Kolář, P., & Dylevský, I. (2011). *Dítě, sport a zdraví*. Galén.

Kyle, U. G., Bosaeus, I., De Lorenzo, A. D., Deurenberg, P., Elia, M., Gómez, J. M., Heitmann, B. L., Kent-Smith, L., Melchior, J.-C., Pirlich, M., Scharfetter, H., Schols, A. M. W. J., & Pichard, C. (2004). Bioelectrical impedance analysis—part II: utilization in clinical practice. *Clinical Nutrition*, 23(6), 1430–1453.

- Laprade, R. F., Agel, J., Baker, J., Brenner, J. S., Cordasco, F. A., Côté, J., Engebretsen, L., Feeley, B. T., Gould, D., Hainline, B., Hewett, T., Jayanthi, N., Kocher, M. S., Myer, G. D., Nissen, C. W., Philippon, M. J., & Provencher, M. T. (2016). AOSSM Early Sport Specialization Consensus Statement. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 4(4), 2325967116644241.
- Lauder, M. A., & Lake, J. P. (2008). Biomechanical comparison of unilateral and bilateral power snatch lifts. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(3), 653–660.
- Lauersen, J. B., Bertelsen, D. M., & Andersen, L. B. (2014). The effectiveness of exercise interventions to prevent sports injuries: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *British Journal of Sports Medicine*, 48(11), 871–877.
- Law, M. P., Côté, J., & Ericsson, K. A. (2007). Characteristics of expert development in rhythmic gymnastics: A retrospective study. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 5(1), 82–103.
- Lee, J. W., Mok, K. M., Chan, H. C., Yung, P. S., & Chan, K. M. (2018). Eccentric hamstring strength deficit and poor hamstring-to-quadriceps ratio are risk factors for hamstring strain injury in football: A prospective study of 146 professional players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(8), 789–793.
- Lehr, M. E., Plisky, P. J., Butler, R. J., Fink, M. L., Kiesel, K. B., & Underwood, F. B. (2013). Field-expedient screening and injury risk algorithm categories as predictors of noncontact lower extremity injury. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23(4), e225–e232.
- Lewitová, A. (2017). Prevence a rehabilitace ploché nohy u dětí a mládeže. *Rehabilitace*, 54(3), 164–173.
- Lipoński, W. (2003). *World Sports Encyclopedia*. MBI Publishing.
- Liporaci, R. F., Saad, M., Grossi, D. B., & Riberto, M. (2019). Clinical Features and Isokinetic Parameters in Assessing Injury Risk in Elite Football Players. *International Journal of Sports Medicine*, 40(14), 903–908.
- Liu, H., Garrett, W. E., Moorman, C. T., & Yu, B. (2012). Injury rate, mechanism, and risk factors of hamstring strain injuries in sports: A review of the literature. *Journal of Sport and Health Science*, 1(2), 92–101.

- Lloyd, R. S., & Oliver, J. L. (2012). The youth physical development model: A new approach to long-term athletic development. *Strength & Conditioning Journal*, 34(3), 61–72.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Howard, R., De Ste Croix, M. B., Williams, C. A., Best, T. M., Alvar, B. A., Micheli, L. J., Thomas, D. P., Hatfield, D. L., Cronin, J. B., & Myer, G. D. (2015). Long-term athletic development, part 2: Barriers to success and potential solutions. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(5), 1451–1464.
- Lloyd, R. S., & Oliver, J. L. (2019). *Strength and Conditioning for Young Athletes: Science and Application*. Routledge.
- Logerstedt, D., Grindem, H., Lynch, A., Eitzen, I., Engebretsen, L., Risberg, M. A., & Snyder-Mackler, L. (2012). Single-legged hop tests as predictors of self-reported knee function after anterior cruciate ligament reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. *The American Journal of Sports Medicine*, 40(10), 2348–2356.
- Lockie, R. G., Callaghan, S. J., Berry, S. P., Cooke, E. R., Jordan, C. A., Luczo, T. M., & Jeffriess, M. D. (2014). Relationship between unilateral jumping ability and asymmetry on multidirectional speed in team-sport athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(12), 3557–3566.
- Longman, D., Stock, J. T., & Wells, J. C. K. (2011). Fluctuating asymmetry as a predictor for rowing ergometer performance. *International Journal Of Sports Medicine*, 32, 606–610.
- Lorenz, D. S., Reiman, M. P., Lehecka, B. J., & Naylor, A. (2013). What performance characteristics determine elite versus nonelite athletes in the same sport? *Sports Health*, 5(6), 542–547.
- Loturco, I., Pereira, L. A., Fílter, A., Olivares-Jabalera, J., Reis, V. P., Fernandes, V., Freitas, T. T., & Requena, B. (2020). Curve sprinting in soccer: relationship with linear sprints and vertical jump performance. *Biology of Sport*, 37(3), 277–283.
- Louis, V. J. (2013). *Sport in the Soviet Union*. Elsevier.
- Luk, H. Y., Winter, C., O'Neill, E., & Thompson, B. A. (2014). Comparison of muscle strength imbalance in powerlifters and jumpers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(1), 23–27.

- Magalhaes, J., Oliveir, A. J., Ascensao, A., & Soares, J. (2004). Concentric quadriceps and hamstrings isokinetic strength in volleyball and soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *44*(2), 119–125.
- Malá, L., Malý, T., & Zahálka, F. (2017). Postural performance in the bipedal and unipedal stance of elite soccer players in different age categories. *Acta Kinesiologica*, *11*(1), 101–105.
- Malá, L., Malý, T., Cabell, L., Hank, M., Bujnovsky, D., & Zahálka, F. (2020). Anthropometric, body composition, and morphological lower limb asymmetries in elite soccer players: a prospective cohort study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(4), 1140.
- Mala, L., Hank, M., Stastny, P., Zahalka, F., Ford, K., Zmijewski, P., Bujnovsky, D., Petr, M., & Maly, T. (2023). Elite young soccer players have smaller inter-limb asymmetry and better body composition than non-elite players. *Biology of Sport*, *40*(1), 265–272.
- Malina, R. M., Bouchard, C., & Bar-Or, O. (2004). *Growth, Maturation and Physical Activity* (2nd ed.). Human Kinetics.
- Malina, R. M. (2010). Early Sport Specialization: Roots, Effectiveness, Risks. *Current Sports Medicine Reports*, *9*(6), 364–371.
- Malina, R. M., & Geithner, C. A. (2011). Body composition of young athletes. *American Journal of Lifestyle Medicine*, *5*(3), 262–278.
- Malina, R. M., Rogol, A. D., Cumming, S. P., E Silva, M. J. C., & Figueiredo, A. J. (2015). Biological maturation of youth athletes: assessment and implications. *British Journal of Sports Medicine*, *49*(13), 852–859.
- Malina, R. M. (2019). Adolescent Growth Spurt. In S. Hupp & J. D. Jewell (Eds.), *The Encyclopedia of Child and Adolescent Development*. John Wiley & Sons.
- Maloney, S. J. (2019). The relationship between asymmetry and athletic performance: A critical review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *33*(9), 2579–2593.
- Maloney, S. J., Fletcher, I. M., & Richards, J. (2016). A comparison of methods to determine bilateral asymmetries in vertical leg stiffness. *Journal of Sports Sciences*, *34*(9), 829–835.

- Malý, T., Zahálka, F., & Malá, L. (2010). Isokinetic strength, ipsilateral and bilateral ratio of peak muscle torque in knee flexors and extensors in elite young soccer players. *Acta Kinesiologica*, 4(2), 17–23.
- Malý, T., Zahalka, F., & Mala, L. (2014). Muscular strength and strength asymmetries in elite and sub-elite professional soccer players. *Sport Science*, 7(1), 26–33.
- Malý, T., Zahálka, F., Malý, L., & Čech, P. (2015). The bilateral strength and power asymmetries in untrained boys. *Open Medicine*, 10(1), 224–232.
- Malý, T., Sugimoto, D., Izovska, J., Zahalka, F., & Mala, L. (2018). Effect of muscular strength, asymmetries and fatigue on kicking performance in soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 39(04), 297–303.
- Malý, T., Malá, L., Bujnovsky, D., Hank, M., & Zahálka, F. (2019). Morphological and isokinetic strength differences: Bilateral and ipsilateral variation by different sport activity. *Open Medicine*, 14(1), 207–216.
- Malý, T. (2020). *Analýza a komparace vybraných determinantů herního výkonu ve fotbale v reflexi hráčských pozic* [Habilitation thesis, Charles University]. [https://ftvs.cuni.cz/FTVS-2443-version1-habilitacni\\_prace\\_tomas\\_maly.pdf](https://ftvs.cuni.cz/FTVS-2443-version1-habilitacni_prace_tomas_maly.pdf)
- Maly, T., Ford, K. R., Sugimoto, D., Izovska, J., Bujnovsky, D., Hank, M., Cabell, L., & Zahalka, F. (2021). Isokinetic strength, bilateral and unilateral strength differences: Variation by age and laterality in elite youth football players. *International Journal of Morphology*, 39(1), 260–267.
- Marencakova, J., Maly, T., Sugimoto, D., Gryc, T., & Zahalka, F. (2018). Foot typology, body weight distribution, and postural stability of adolescent elite soccer players: A 3-year longitudinal study. *PloS One*, 13(9), e0204578.
- Marquet, L. A., Hausswirth, C., Molle, O., Hawley, J. A., Burke, L. M., Tiollier, E., & Brisswalter, J. (2016). Periodization of Carbohydrate Intake: Short-Term Effect on Performance. *Nutrients*, 8(12), 755.
- McFall, D., Cushion, E. J., & Legg, H. S. (2022). Jump test asymmetry profiles of elite trials cyclists. *Journal of Physical Education and Sport*, 22(4), 1033–1040.
- McKay, A. K., Stellingwerff, T., Smith, E. S., Martin, D. T., Mujika, I., Goosey-Tolfrey, V. L., Sheppard, J., & Burke, L. M. (2021). Defining Training and Performance Caliber:

A Participant Classification Framework. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 17(2), 317–331.

Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D., Raglin, J., Rietjens, G., Steinacker, J., & Urhausen, A. (2013). Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome: Joint consensus statement of the European College of Sport Science (ECSS) and the American College of Sports Medicine (ACSM). *European Journal of Sport Science*, 13(1), 1–24.

Meeuwisse, W. H., Tyreman, H., Hagel, B., & Emery, C. (2007). A dynamic model of etiology in sport injury: the recursive nature of risk and causation. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 17(3), 215–219.

Menzel, H. J., Chagas, M. H., Szmuchrowski, L. A., Araujo, S. R., De Andrade, A. G., & De Jesus-Moraleida, F. R. (2013). Analysis of lower limb asymmetries by isokinetic and vertical jump tests in soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(5), 1370–1377.

Meurisse, G. M., Dierick, F., Schepens, B., & Bastien, G. J. (2016). Determination of the vertical ground reaction forces acting upon individual limbs during healthy and clinical gait. *Gait & Posture*, 43, 245–250.

Miletić, Đ., Božanić, A., & Musa, I. (2009). Ambidexterity influencing performance in rhythmic composition—Gender differences. *Acta Kinesiologica*, 3(1), 38–43.

Miratsky, P., Gryc, T., Cabell, L., Zahalka, F., Brozka, M., Varjan, M., & Maly, T. (2021). Isokinetic strength, vertical jump performance, and strength differences in first line professional firefighters competing in fire sport. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(7), 3448.

Mitchell, J. H., Haskell, W., Snell, P., & Van Camp, S. P. (2005). Task Force 8: classification of sports. *Journal of the American College of Cardiology*, 45(8), 1364–1367.

Moesch, K., Elbe, A. M., Hauge, M. L., & Wikman, J. M. (2011). Late specialization: the key to success in centimeters, grams, or seconds (cgs) sports. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21(6), 282–290.



- Morin, J. B., Gimenez, P., Edouard, P., Arnal, P., Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Brughelli, M., & Mendiguchia, J. (2015). Sprint acceleration mechanics: the major role of hamstrings in horizontal force production. *Frontiers in Physiology*, *6*, 404.
- Morris, R. O., Jones, B., Myers, T., Lake, J., Emmonds, S., Clarke, N. D., Singleton, D., Ellis, M., & Till, K. (2020). Isometric midhigh pull characteristics in elite youth male soccer players: Comparisons by age and maturity offset. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *34*(10), 2947–2955.
- Morrison, S. C., Price, C., McClymont, J., & Nester, C. (2018). Big issues for small feet: developmental, biomechanical and clinical narratives on children’s footwear. *Journal of Foot and Ankle Research*, *11*(1), 1–5.
- Myer, G. D., Ford, K. R., Paterno, M. V., Nick, T. G., & Hewett, T. E. (2008). The effects of generalized joint laxity on risk of anterior cruciate ligament injury in young female athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, *36*(6), 1073–1080.
- Myer, G. D., Quatman, C. E., Khoury, J., Wall, E. J., & Hewett, T. E. (2009). Youth versus adult “weightlifting” injuries presenting to United States emergency rooms: accidental versus nonaccidental injury mechanisms. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *23*(7), 2054
- Myer, G. D., Faigenbaum, A. D., Ford, K. R., Best, T. M., Bergeron, M. F., & Hewett, T. E. (2011). When to initiate integrative neuromuscular training to reduce sports-related injuries in youth? *Current Sports Medicine Reports*, *10*(3), 155–166.
- Myer, G. D., Jayanthi, N., DiFiori, J. P., Faigenbaum, A. D., Kiefer, A. W., Logerstedt, D., & Micheli, L. J. (2015). Sport specialization, part 1: Does early sports specialization increase negative outcomes and reduce the opportunity for success in young athletes? *Sports Health*, *7*(1), 437–442.
- Nicholson, G., Bennett, T., Thomas, A., Pollitt, L., Hopkinson, M., Crespo, R., Robinson, T., & Price, R. J. (2022). Inter-limb asymmetries and kicking limb preference in English premier league soccer players. *Frontiers in Sports and Active Living*, *4*, 982796.
- Nunome, H., Asai, T., Ikegami, Y., & Sakurai, S. (2002). Three-dimensional kinetic analysis of side-foot and instep soccer kicks. *Medicine and science in sports and exercise*, *34*(12), 2028-2036.

- Orchard J. (2012) Who is to blame for all the football injuries? *British Journal of Sports Medicine*; June 20, guest blog. <http://blogs.bmj.com/bjism/2012/06/20/who-is-to-blame-for-all-the-football-injuries/>
- Paillard, T., Noe, F., Riviere, T., Marion, V., Montoya, R., & Dupui, P. (2006). Postural performance and strategy in the unipedal stance of soccer players at different levels of competition. *Journal of Athletic Training*, 41(2), 172–176.
- Pankhurst, A., & Collins, D. (2013). Talent identification and development: The need for coherence between research, system, and process. *Quest*, 65(1), 83–97.
- Pappas, P., Paradisis, G. P., & Girard, O. (2022). Influence of lower limb dominance on mechanical asymmetries during high-speed treadmill running. *Sports Biomechanics*, 1–12.
- Paquette, M. R., Milner, C. E., & Melcher, D. A. (2017). Foot contact angle variability during a prolonged run with relation to injury history and habitual foot strike pattern. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(2), 217–222.
- Parkinson, A. O., Apps, C. L., Morris, J. G., Barnett, C. T., & Lewis, M. G. (2021). The calculation, thresholds and reporting of inter-limb strength asymmetry: A systematic review. *Journal of Sports Science & Medicine*, 20(4), 594–617.
- Parrington, L., & Ball, K. (2016). Biomechanical considerations of laterality in sport. In F. Loffing, N. Hagemann, B. Strauss & C. MacMahon (Eds.), *Laterality in Sports* (pp. 279–308). Academic Press.
- Perič, T., & Pecha, J. (2014). Sportovní příprava dětí—co ovlivňuje kvalitu tréninkového procesu. In L. Flemr, J. Němec & O. Novotný (Eds.), *Pohybové aktivity ve vědě a praxi* (pp. 465–475). Karolinum.
- Philippaerts, R. M., Vaeyens, R., Janssens, M., Van Renterghem, B., Matthys, D., Craen, R., Bourgois, J., Vrijens, J., Beunen, G., & Malina, R. M. (2006). The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 24(3), 221–230.
- Plisky, P. J., Rauh, M. J., Kaminski, T. W., & Underwood, F. B. (2006). Star Excursion Balance Test as a Predictor of Lower Extremity Injury in High School Basketball Players. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 36(12), 911–919.

- Plisky, P., Schwartkopf-Phifer, K., Huebner, B., Garner, M. B., & Bullock, G. (2021). Systematic Review and Meta-Analysis of the Y-Balance Test Lower Quarter: Reliability, Discriminant Validity, and Predictive Validity. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 16(5), 1190.
- Post, E. G., Trigsted, S. M., Riekema, J. W., Hetzel, S., McGuine, T. A., Brooks, M. A., & Bell, R. D. (2017). The Association of Sport Specialization and Training Volume With Injury History in Youth Athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 45(6), 1405–1412.
- Quatman, C. E., Ford, K. R., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2006). Maturation leads to gender differences in landing force and vertical jump performance: a longitudinal study. *The American Journal of Sports Medicine*, 34(5), 806–813.
- Rahnama, N., Lees, A., & Bambaecichi, E. (2005). A comparison of muscle strength and flexibility between the preferred and non-preferred leg in English soccer players. *Ergonomics*, 48(11–14), 1568–1575.
- Rauter, S., & Simenko, J. (2021). Morphological asymmetries profile and the difference between low-and high-performing road cyclists using 3D scanning. *Biology*, 10(11), 1199.
- Raya-González, J., Bishop, C., Gómez-Piqueras, P., Veiga, S., Viejo-Romero, D., & Navandar, A. (2020). Strength, jumping, and change of direction speed asymmetries are not associated with athletic performance in elite academy soccer players. *Frontiers in Psychology*, 11, 175.
- Read, P. J., Oliver, J. L., De Ste Croix, M. B. A., Myer, G. D., & Lloyd, R. S. (2018a). A prospective investigation to evaluate risk factors for lower extremity injury risk in male youth soccer players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(3), 1244–1251
- Read, P. J., Oliver, J. L., Myer, G. D., Croix, M. B. D. S., & Lloyd, R. S. (2018b). The effects of maturation on measures of asymmetry during neuromuscular control tests in elite male youth soccer players. *Pediatric Exercise Science*, 30(1), 168–175.
- Riley, R. D., Snell, K. I., Ensor, J., Burke, D. L., Harrell Jr, F. E., Moons, K. G., & Collins, G. S. (2019). Minimum sample size for developing a multivariable prediction model: PART II-binary and time-to-event outcomes. *Statistics in Medicine*, 38(7), 1276–1296.

- Robinson, R., Herzog, W., & Nigg, B. M. (1987). Use of force platform variables to quantify the effects of chiropractic manipulation on gait symmetry. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, *10*(4), 172–176.
- Roso-Moliner, A., Lozano, D., Nobari, H., Bishop, C., Carton-Llorente, A., & Mainer-Pardos, E. (2023). Horizontal jump asymmetries are associated with reduced range of motion and vertical jump performance in female soccer players. *Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, *15*(1), 80.
- Roth, C. L., & Divall, S. (2016). Consequences of early life programming by genetic and environmental influences: A synthesis regarding pubertal timing. *Endocrine Development*, *29*, 134–152.
- Rumpf, M. C., Cronin, J. B., Mohamad, I. N., Mohamad, S., Oliver, J. L., & Hughes, M. G. (2014). Kinetic asymmetries during running in male youth. *Physical Therapy in Sport*, *15*(1), 53–57.
- Salmela-Aro, K. (2011). *Stages of Adolescence. Encyclopedia of Adolescence*. Academic Press.
- Sanchis-Moysi, J., Dorado, C., Olmedillas, H., Serrano-Sanchez, J. A., & Calbet, J. A. (2010). Bone and lean mass inter-arm asymmetries in young male tennis players depend on training frequency. *European Journal of Applied Physiology*, *110*(1), 83–90.
- Sannicandro, I., Cofano, G., Rosa, R. A., & Piccinno, A. (2014). Balance training exercises decrease lower-limb strength asymmetry in young tennis players. *Journal of Sports Science & Medicine*, *13*(2), 397.
- Seo, J. W., Kim, Y. H., Kim, D., Choi, Y. D., & Lee, K. J. (2015). Heat transfer and pressure drop characteristics in straight microchannel of printed circuit heat exchangers. *Entropy*, *17*(5), 3438–3457.
- Shorter, K. A., Polk, J. D., Rosengren, K. S., & Hsiao-Wecksler, E. T. (2008). A new approach to detecting asymmetries in gait. *Clinical Biomechanics*, *23*(4), 459–467.
- Schache, A. G., Dorn, T. W., Blanch, P. D., Brown, N. A., & Pandy, M. G. (2012). Mechanics of the human hamstring muscles during sprinting. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *44*(4), 647–658.

- Scher, S., Anderson, K., Weber, N., Bajorek, J., Rand, K., & Bey, M. J. (2010). Associations among hip and shoulder range of motion and shoulder injury in professional baseball players. *Journal of Athletic Training, 45*(2), 191–197.
- Schiltz, M., Lehance, C., Maquet, D., Bury, T., Crielaard, J. M., & Croisier, J. L. (2009). Explosive strength imbalances in professional basketball players. *Journal of Athletic Training, 44*(1), 39–47.
- Schmitt, L. C., Paterno, M. V., Ford, K. R., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2015). Strength asymmetry and landing mechanics at return to sport after ACL reconstruction. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 47*(7), 1426–1434.
- Sluder, J. B., Fuller, T. T., Griffin, S., & Mccray, Z. (2017). Early vs. late specialization in sport. *GaHPERD Journal, 49*(3), 9–15.
- Smith, C., Chimera, N. J., & Warren, M. (2015). Association of Y balance test reach asymmetry and injury in division I athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 47*(1), 136–141.
- Smolak, L., Murnen, S. K., & Ruble, A. E. (2000). Female athletes and eating problems: A meta-analysis. *International Journal of Eating Disorders, 27*(4), 371–380.
- Stefani, R. T. (1999). A taxonomy of sports rating systems. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics-part a: Systems and humans, 29*(1), 116–120.
- Steidl-Müller, L., Hildebrandt, C., Müller, E., Fink, C., & Raschner, C. (2018). Limb symmetry index in competitive alpine ski racers: Reference values and injury risk identification according to age-related performance levels. *Journal of Sport and Health Science, 7*(4), 405–415.
- Stiffler, M. R., Sanfilippo, J. L., Brooks, M. A., & Heiderscheit, B. C. (2015). Star excursion balance test performance varies by sport in healthy division I collegiate athletes. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, 45*(10), 772–780.
- Stiffler, M. R., Bell, D. R., Sanfilippo, J. L., Hetzel, S. J., Pickett, K. A., & Heiderscheit, B. C. (2017). Star excursion balance test anterior asymmetry is associated with injury status in division I collegiate athletes. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, 47*(5), 339–46.

- Sugimoto, D., McCartney, R. E., Parisien, R. L., Dashe, J., Borg, D. R., & Meehan, W. P. (2018). Range of motion and ankle injury history association with sex in pediatric and adolescent athletes. *Physician and Sportsmedicine*, 46(1), 24–29.
- Suchomel, A. (2004). *Somatická charakteristika dětí školního věku s rozdílnou úrovní motorické výkonnosti*. Technická univerzita v Liberci.
- Tabor, P., Mastalerz, A., Iwańska, D., & Grabowska, O. (2019). Asymmetry indices in female runners as predictors of running velocity. *Polish Journal of Sport and Tourism*, 26(3), 3–8.
- Tee, J. C., McLaren, S. J., & Jones, B. (2020). Sports injury prevention is complex: we need to invest in better processes, not singular solutions. *Sports Medicine*, 50(4), 689–702.
- Teixeira, J., Carvalho, P., Moreira, C., & Santos, R. (2014). Isokinetic assessment of muscle imbalances and bilateral differences between knee extensors and flexors' strength in basketball, football, handball and volleyball athletes. *International Journal of Sports Science*, 4(1), 1–6.
- Turner, A., Bishop, C., Chavda, S., Edwards, M., Brazier, J., & Kilduff, L. P. (2016). Physical characteristics underpinning lunging and change of direction speed in fencing. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(8), 2235–2241.
- Ueberschär, O., Fleckenstein, D., Warschun, F., Walter, N., & Hoppe, M. W. (2019). Case report on lateral asymmetries in two junior elite long-distance runners during a high-altitude training camp. *Sports Orthopaedics and Traumatology*, 35(4), 399–406.
- Vágnerová, M. (2012). *Dětství a dospívání. Vývojová psychologie*. Karolinum.
- Vamplew, W. (2007). Playing with the rules: Influences on the development of regulation in sport. *The International Journal of the History of Sport*, 24(7), 843–871.
- Van Valen, L. (1962). A study of fluctuating asymmetry. *Evolution*, 16(2), 125–142.
- Vasenina, E., Stout, J. R., & Fukuda, D. H. (2023). Tennis specialization and consequence of injury/illness following retirement. *Sports*, 11(5), 106.
- Versic, S., Pehar, M., Modric, T., Pavlinovic, V., Spasic, M., Uljevic, O., Corluka, M., Sattler, T., & Sekulic, D. (2021). Bilateral symmetry of jumping and agility in

professional basketball players: differentiating performance levels and playing positions. *Symmetry*, 13(8), 1316.

Vičar, M. (2018). *Sportovní talent-komplexní přístup*. Grada Publishing.

Vignerová, J., Riedlová, J., Bláha, P., Kobzová, J., Krejčovský, L., Brabec, M., & Hrušková, M. (2006). 6. *Celostátní antropologický výzkum dětí a mládeže 2001 Česká republika*. PřF UK v Praze.

Watson, P. J., & Thornhill, R. (1994). Fluctuating asymmetry and sexual selection. *Trends in Ecology & Evolution*, 9(1), 21–25.

Wayner, R. A., Robinson, R., & Simon, J. E. (2023). Gait asymmetry and running-related injury in female collegiate cross-country runners. *Physical Therapy in Sport*, 59, 1–6.

Welch, C. M., Banks, S. A., Cook, F. F., & Draovitch, P. (1995). Hitting a baseball: A biomechanical description. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, 22(5), 193–201.

Wiersma, L. D. (2000). Risks and benefits of youth sport specialization: Perspectives and recommendations. *Pediatric Exercise Science*, 12(1), 13–22.

Wik, E. H., Mc Auliffe, S., & Read, P. J. (2019). Examination of physical characteristics and positional differences in professional soccer players in Qatar. *Sports*, 7(1), 9.

Wilhite, M. R., Cohen, E. R., & Wilhite, S. C. (1992). Reliability of concentric and eccentric measurements of quadriceps performance using the KIN-COM dynamometer: The effect of testing order for three different speeds. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 15(4), 175–182.

Willigenburg, N. W., McNally, M. P., & Hewett, T. E. (2014). Quadriceps and hamstrings strength in athletes. In C. C. Kaeding & J. R. Borchers (Eds.), *Hamstring and Quadriceps Injuries in Athletes: A Clinical Guide* (pp. 15–28). Springer.

Wilmore, J. H., Costill, D. L., & Kenney, W. L. (2004). *Physiology of sport and exercise* (Vol. 20). Champaign, IL: Human kinetics.

Wong, P. L., Chamari, K., Chaouachi, A., Wisløff, U., & Hong, Y. (2007). Difference in plantar pressure between the preferred and non-preferred feet in four soccer-related movements. *British Journal of Sports Medicine*, 41(2), 84–92.

- Wylde, M. J., Callaway, A. J., Williams, J. M., Yap, J., Leow, S., & Yong, L. C. (2022). Limb specific training magnitude and asymmetry measurement to discriminate between athletes with and without unilateral or bilateral lower limb injury history. *Physical Therapy in Sport*, 56, 76–83.
- Xaverova, Z., Dirnberger, J., Lehnert, M., Belka, J., Wagner, H., & Orechovska, K. (2015). Isokinetic Strength Profile of Elite Female Handball Players. *Journal of Human Kinetics*, 49, 257–266.
- Zahalka, F., Maly, T., & Mala, L. (2016). Analysis of vertical jump parameters with respect to age, jump type and bilateral differences in young soccer players. In T. Favero, B. Drust & B. Dawson (Eds.), *International Research in Science and Soccer II* (pp. 286–293). Routledge.
- Zatsiorsky, V. M., Kraemer, W. J., & Fry, A. C. (2020). *Science and practice of strength training*. Human Kinetics.
- Zemková, E., Poór, O., & Jeleň, M. (2019). Between-side differences in trunk rotational power in athletes trained in asymmetric sports. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 32(4), 529–537.
- Zifchock, R. A., Davis, I., Higginson, J., & Royer, T. (2008). The symmetry angle: a novel, robust method of quantifying asymmetry. *Gait & Posture*, 27(4), 622–627.
- Zwolski, C., Schmitt, L. C., Quatman-Yates, C., Thomas, S., Hewett, T. E., & Paterno, M. V. (2015). The influence of quadriceps strength asymmetry on patient-reported function at time of return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine*, 43(9), 2242–2249.



## 9 SEZNAM TABULEK, OBRÁZKU, GRAFŮ A ZKRATEK

### 9.1 Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Klasifikace sportu na základě výkonnostní úrovně. ....	17
Tabulka č. 2: Klasifikace sportovních výkonů dle Dovalil et al., (2002). ....	21
Tabulka č. 3: Klasifikace sportovních výkonů dle McKay et al. (2021). ....	22
Tabulka č. 4: Počet registrovaných členů a oddílů u 20 nejpočetnějších sportů v ČR... 25	
Tabulka č. 5: Doporučení ke sportovní specializaci ve sportu. ....	28
Tabulka č. 6: Proces zatížení v tréninku a maladaptivní dopady. ....	36
Tabulka č. 7: Přehled vzorců pro výpočet bilaterální asymetrie.....	40
Tabulka č. 8: Základní antropometrické parametry (průměr ± SD) pro vybrané skupiny .....	73
Tabulka č. 9: Hodnoty bilaterálních asymetrií (%) u vybraných parametrů .....	74
Tabulka č. 10: Distribuce jednotlivých asymetrií NA, ZA, VA u parametrů izokinetické svalové síly a inverzní dynamiky dolních končetin při vertikálním výskoku.....	75
Tabulka č. 11: Hodnoty bilaterálních asymetrií (%) vzhledem k druhu sportu.....	80
Tabulka č. 12: Hodnoty bilaterální asymetrie (%) v reflexi věkových skupin.....	83
Tabulka č. 13: Hodnoty bilaterální asymetrie (%) vzhledem k výkonnostní úrovni.....	86
Tabulka č. 14: Hodnoty bilaterální asymetrie (%) vzhledem k pohlaví.....	88
Tabulka č. 15: Vícenásobná lineární regrese pro hodnoty bilaterální asymetrie.....	90
Tabulka č. 16: Hodnoty unilaterální asymetrie vyjádřené pomocí H:Q poměru (%).....	91
Tabulka č. 17: Rozdílnost hodnot H:Q poměru (%) vzhledem k jednotlivým druhům sportu .....	92
Tabulka č. 18: Rozdílnost hodnot H:Q poměru (%) vzhledem k jednotlivým věkovým kategoriím.....	93
Tabulka č. 19: Rozdílnost hodnot H:Q poměru (%) vzhledem k rozdílné výkonnostní úrovni.....	93
Tabulka č. 20: Rozdílnost hodnot H:Q poměru (průměr ± SD, %) vzhledem k pohlaví	94
Tabulka č. 21: Vícenásobná lineární regrese pro hodnoty unilaterální asymetrie.....	95
Tabulka č. 22: Korelační matice mezi parametry bilaterální a unilaterální asymetrie ...	97

## 9.2 Seznam obrázků

Obrázek č. 1: Holistický model sportovního výkonu .....	19
Obrázek č. 2: Vztahy mezi tréninkem, úrovní kondice a rizikem zranění.....	30
Obrázek č. 3: Teorie superkompenzace ve sportu. ....	35
Obrázek č. 4: Postup jednotlivých měřených metodik .....	59
Obrázek č. 5: Měření tělesné výšky pomocí mechanického antropometru SECA.....	61
Obrázek č. 6: Měření tělesné hmotnosti pomocí digitální váhy SECA .....	62
Obrázek č. 7: Ukázka diagnostiky měření tělesného složení pomocí BIA.....	63
Obrázek č. 8: Ukázka diagnostiky měření posturální stability při unilaterálním testu flamingo.....	64
Obrázek č. 9: Ukázka diagnostiky inverzní dynamiky běhu pomocí 3D běhátka .....	65
Obrázek č. 10: Ukázka diagnostiky izokineticke svalové síly extenzorů a flexorů kolena pomocí dynamometru Humac Norm .....	67
Obrázek č. 11: Letová fáze při vertikálním výskoku bez pomoci paží (CMJ) .....	68
Obrázek č. 12: Základní postavení při vertikálním výskoku z podřepu (SJ).....	69

## 9.3 Seznam grafů

Graf č. 1: Směr asymetrie u jednotlivých parametrů bilaterální asymetrie .....	76
Graf č. 2: Bilaterální asymetrie flexorů a extenzorů kolena .....	77
Graf č. 3: Bilaterální asymetrie mezi vyprodukovanou maximální silou během vertikálního výskoku CMJ a SJ .....	78
Graf č. 4: Bilaterální asymetrie při testu inverzní dynamiky běhu různé rychlosti pohybu .....	79
Graf č. 5: Distribuce asymetrií z hlediska velikosti u parametru $Q:Q^{60}$ .....	81
Graf č. 6: Distribuce asymetrií z hlediska velikosti u parametru $H:H^{180}$ .....	82
Graf č. 7: Distribuce asymetrií z hlediska velikosti u parametru $Q:Q^{60}$ a $Q:Q^{300}$ .....	84
Graf č. 8: Distribuce asymetrií z hlediska velikosti u parametru $BFD^{CMJ}$ a $BFD^{SJ}$ .....	85
Graf č. 9: Distribuce asymetrií dle velikosti u parametru $H:H^{180}$ .....	87

## 9.4 Seznam zkratek

Asymetrický charakter pohybového zatížení - ASY

Asymetrie posturální stability při unilaterálním stoji - APS

Bilaterální asymetrie – (Bilateral asymmetry) BA

Bilaterální silový deficit – (Bilateral force deficit) BFD

Bio-impedanční analýza - BIA

Celková dráha při testu posturální stability – (Total travel way) TTW

Celkový obsah minerálů v kostech – (Bone Mineral Content ) BMC

Dlouhodobý model sportovního tréninku – (Long-Term Athletic Development) LTAD

Dlouhodobý rozvoj mladých sportovců - (Youth Physical Development ) YPD

Dominantní dolní končetina - DK

Fakulta tělesné výchovy a sportu na Univerzitě Karlově - FTVS UK

Fédération Internationale de Médecine du Sport - FIMS

Funkční přetížení – (Functional overreaching) FOR

Hustota minerálů v kostech – (Bone Mineral Density) BMD

Impulz síly – (Force Impuls) FI

International Olympic Committee - IOC

Koeficient variability - CV

Kolísavá asymetrie – (Fluctuating Asymmetry) FA

Laboratoř sportovní motoriky - LSM

Magnetická resonance - MRI

Maximální hodnota silového momentu – (Peak Torque) PT

Maximální síla – (Peak Force) PF

Maximální síla při dopadové fázi běhu – (Impact Peak Force) IPF

Maximální síla při odrazové fázi běhu – (Active Peak Force) APF

Maximální výkon – (Peak Power) PP

Metoda duální rentgenové absorptiometrie - DEXA

National Strength and Conditioning Association - NSCA

Nedominantní dolní končetina - NDK

Nefunkční přetížení – (Nonfunctional Overreaching) NFOR

Nevýznamná asymetrie - NA

Počítačová tomografie - CT

Poměr svalové síly hamstringů ke kvadricepsům - H:Q poměr

Přetížení – (Overload) OL

Síly působící na podložku – (Ground Reaction Force) GRF

Směrovost nebyla hodnocena - NS

Smíšený pohybový charakter tzv. hybridní - HY

Střed tlakového působení – (Centre Of Pressure) COP

Symetrický charakter pohybového zatížení - SY

Syndrom přetrénování – (Overtraining Syndrome) OTS

Tělesná výška – (Body Height) BH

Tělesná hmotnost – (Body Weight) BW

Tělesný tuk – (Body Fat) BF

Tukuprostá hmota – (Fat Free Mass) FFM

Tuhost nohou při vertikálním výskoku – (vertical leg stiffness) VLS

Unilaterální asymetrie - UA

Vrchol růstového spurtu – (Peak Height Velocity) PHV

Vertikální výskok s protipohybem s využitím paží – (Countermovement jump with free arms) CMJFA

Vertikální výskok s protipohybem paží, resp. ruce v pozici u boků – (countermovement jump) CMJ

Vertikální výskok po předchozím seskoku – (Drop Jump) DJ

Vertikální výskok z podřepu – (Squat jump) SJ

Významná asymetrie - VA

Zvýšená asymetrie – ZA

# 10 PŘÍLOHY

UNIVERZITA KARLOVA  
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU  
Josef Martího 31, 162 52 Praha 6-Vešelavín

## Žádost o vyjádření Etické komise UK FTVS

k projektu výzkumné, kvalifikační či seminární práce zahrnující lidské účastníky

**Název projektu:** Objektivizace, komparace a míra asociace maladaptivních indikátorů u sportovců

**Forma projektu:** výzkumná práce - dizertační práce

**Období realizace:** 11/2018 – 6/2022

**Předkladatel:** Kařata Maroš Mgr., Kinantropologie

**Hlavní řešitel:** Kařata Maroš Mgr., Kinantropologie

**Místo výzkumu (pracoviště):** Laboratoř sportovní motoriky (LSM)

**Vedoucí práce (v případě studentské práce):** PhDr. Tomáš Malý, Ph.D.

**Finanční podpora:** GAUK

**Popis projektu:** Výzkum je zaměřen na zjištění nových poznatků v oblasti maladaptivních procesů u sportujících dětí a mládeže. Praktikování pravidelné pohybové činnosti představuje pro organizmus určitý druh zatížení, který do značné míry vymezuje zvolená sportovní disciplína. Sporty se liší svými pohybovými úkoly a převládajícími pohybovými vzory, které jsou pro ně specifické. Ve sportech s převahou asymetrických kinetických vzorců jako je fotbal byli publikovány deficity svalové síly mezi párovými končetinami a taktéž mezi svalovými skupinami antagonistů a agonistů. Při nedostatečné kompenzaci resp. žádné, může tahle asymetrie způsobit strukturální, fyziologické i morfologické změny ve vývoji už v mladém věku. Naším hlavním cílem je proto objektivizovat, identifikovat a komparovat maladaptivní procesy pomocí vybraných laboratorních indikátorů. Výzkumný soubor bude ve věku 11-18 let. Maladaptivní procesy (závislá proměnná) budou zjišťovány ve formě hodnocení asymetrií z hlediska morfologického (tělesné složení), neuromuskulárního (posturální stabilita) a silového (svalová síla extenzorů a flexorů kolena, inverzní dynamika dolních končetin). Závisle proměnné budou následně komparované (MANOVA) ve vztahu k nezávislé proměnné (věk, pohlaví, druh sportu, míra objemu trénovanosti). Objektivizace, identifikace a komparace zjištěných asymetrií může poskytnout cenné informace při jejich odstraňování, což má za následek zlepšení úrovně zdraví a předejít tak případnému zranění v důsledku prohlubování svalové nerovnováhy.

**Charakteristika účastníků výzkumu:** Výzkumný soubor  $n = 200$  (předpokládaný počet). Probandi budou rozřazeni dle kritérií (věk, pohlaví, druh sportovní činnosti, míra objemu trénovanosti). Do projektu budou zařazeni pouze zdraví probandi, tj. nemají žádné akutní ani dlouhodobé zdravotní problémy. Všichni účastníci studie absolvují tělovýchovně lékařskou prohlídku způsobilosti ke sportu a budou ke studii doporučeni tělovýchovným lékařem.

Testování bude probíhat dle standardních postupů za dozoru odborných a vyškolených pracovníků laboratoře sportovní motoriky (LSM).

**Zajištění bezpečnosti:** Jedná se o neinvazivní metody pro zjišťování vědeckých dat. Před realizací samotných laboratorních testů bude předcházet rozsvícení pod odborným dohledem. Rizika prováděného výzkumu nebudou vyšší než běžné očekávaná rizika u aktivit a testování prováděných v rámci tohoto typu výzkumu.

Testy se budou realizovat v LSM vždy ve shodný čas, abychom jsme zajistili stejné podmínky. Účastníci budou informováni o termínech v dostatečném předstihu, aby se mohli včas dostavit.

**Etické aspekty výzkumu:** Výzkum zahrnuje vulnerabilní skupinu nezletilých osob, protože včasná identifikace sledovaných asymetrií může napomoci mladému sportovci při jeho rozvoji. Získaná data od účastníků budou zpracovávána anonymně a bezpečně uschovávána a publikována v dizertační práci, v odborných časopisech, monografiích a prezentována na konferencích, případně budou využita při další výzkumné práci na UK FTVS. Rekrutace probandů bude záměrná (design výzkumu) a u nezletilých probandů bude před samotným zahájením realizace nutný podepsaný informovaný souhlas zákonného zástupce. V maximální možné míře zajistím, aby získaná data nebyla zneužita. Během výzkumu nebudou pořizovány žádné fotografie ani videozáznamy.

**Text informovaného souhlasu:** přiložen v příloze

Povinnosti všech účastníků výzkumu na straně řešitele je chránit život, zdraví, důstojnost, integritu, právo na sebeurčení, soukromí a osobní data zkoumaných subjektů, a podniknout k tomu veškerá preventivní opatření. Odpovědnost za ochranu zkoumaných subjektů leží vždy na účastnících výzkumu na straně řešitele, nikdy na zkoumaných, byť dali svůj souhlas k účasti na výzkumu. Všichni účastníci výzkumu na straně řešitele musí brát v potaz etické, právní a regulační normy a standardy výzkumu na lidských subjektech, které platí v České republice, stejně jako ty, jež platí mezinárodně.

Potvrzuji, že tento popis projektu odpovídá návrhu realizace projektu a že při jakékoli změně projektu, zejména použitých metod, zašlu Etické komisi UK FTVS revidovanou žádost.

V Praze dne: 14.11.2018

Podpis předkladatele:

## Vyjádření Etické komise UK FTVS

**Složení komise:** Předsedkyně: doc. PhDr. Irena Parry Martínková, Ph.D.

**Členové:** prof. PhDr. Pavel Šlepička, DrSc.

doc. MUDr. Jan Heller, CSc.

PhDr. Pavel Hráský, Ph.D.

Mgr. Eva Prokešová, Ph.D.

MUDr. Simona Majorová

Projekt práce byl schválen Etickou komisí UK FTVS pod jednacím číslem: .....

dne: .....

Etická komise UK FTVS rozhodla předložený projekt a neshledala žádné rozpory s platnými zásadami, předpisy a mezinárodními směrnici pro provádění výzkumu zahrnujícího lidské účastníky.

Řešitel projektu splnil podmínky nutné k získání souhlasu Etické komise.

razítko UK FTVS

podpis předsedkyně EK UK FTVS