

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury



Fakulta
tělesné kultury

**VLIV MATURACE NA RIZIKO ZRANĚNÍ DOLNÍCH KONČETIN
U VOLEJBALISTEK VE VĚKU 7–15 LET**

Diplomová práce

Autor: Bc. Zdeňka Lošťáková

Studijní program: Aplikovaná fyzioterapie

Vedoucí práce: Mgr. Ivana Hanzlíková, Ph.D.

Olomouc 2024

Bibliografická identifikace

Jméno autora: Bc. Zdeňka Lošťáková

Název práce: Vliv maturace na riziko zranění dolních končetin u volejbalistek ve věku 7–15 let

Vedoucí práce: Mgr. Ivana Hanzlíková, Ph.D.

Pracoviště: Katedra fyzioterapie

Rok obhajoby: 2024

Abstrakt:

Riziko zranění dolních končetin je v rámci výzkumu nejčastěji asociováno s chronologickým věkem. Současné poznatky ovšem informují o důležitosti biologického věku.

Cílem diplomové práce bylo posoudit vliv maturace na riziko zranění dolních končetin u hráček volejbalu a zjistit, zda se riziko mezi jednotlivými maturačními skupinami liší.

Studie se zúčastnilo 52 dívek ve věku 8–15 let hrajících volejbal, které byly na základě Khamis-Roche metody rozděleny do 4 skupin-prepubertal (13), early-pubertal (6), mid-pubertal (8), late-pubertal (25). Riziko zranění bylo testováno pomocí baterie testů (Landing, Error Scoring System, Beighton skóre, statestezie, somatognozie, reakční čas, dynamická rovnováha).

Pro statistiku bylo využito hodnocení korelací, jednosměrná ANOVA nebo Kruskal-Wallis rank sum testu. Signifikantní vztah s maturačním statusem byl zjištěn u těchto testů: Beighton skóre (p -value=0,026, ρ =-0,308), statestezie (p -value=0,031, ρ =-0,299), reakční čas (p -value<0,001, ρ =-0,629 pro kongruentní; p -value<0,001, ρ =-0,585 pro inongruentní), dynamická rovnováha (p -value=0,030, ρ =-0,308). Na základě porovnání skupin lze pozorovat snižující se riziko zranění od early-pubertal k late-pubertal skupině. V rámci tréninku je tak vhodné zařadit specifické preventivní programy pro danou maturační skupinu.

Klíčová slova:

Maturace, biologický věk, puberta, dospívání, riziko zranění

Souhlasím s půjčováním práce v rámci knihovních služeb.

Bibliographical identification

Author: Bc. Zdeňka Lošťáková
Title: The impact of maturation on the risk of lower limb injuries in female volleyball players aged 7–15 years

Supervisor: Mgr. Ivana Hanzlíková, Ph.D.
Department: Department of Physiotherapy
Year: 2024

Abstract:

The risk of lower limb injuries is most commonly associated with chronological age within the scope of research. However, current findings inform about the importance of biological age. The aim of the thesis was to assess the influence of maturation on the risk of lower limb injuries in female volleyball players and to determine whether risk differs among different maturation groups.

The study involved 52 girls aged 8-15 playing volleyball, who were divided into 4 groups based on Khamis-Roche method-prepubertal (13), early-pubertal (6), mid-pubertal (8), late-pubertal (25). The risk of injury was assessed using a battery of tests (Landing Error Scoring System, Beighton score, statesthesia, somatognosia, reaction time, dynamic balance). For statistics, correlation assessment, one-way ANOVA, or Kruskal-Wallis rank sum test were used. A significant relationship with maturation status was found in the following tests: Beighton score (p-value=0,026, $\rho=-0,308$), statesthesia (p-value=0,031, $\rho=-0,299$), reaction time (p-value<0,001, $\rho=-0,629$ congruent; p-value<0,001, $\rho=-0,585$ incongruent), dynamic balance (p-value=0,030, $\rho=-0,308$). Based on the group comparisons, a decreasing risk of injury from early-pubertal groups can be observed. Therefore, it is advisable to include specific preventive programs for each maturation group within the training.

Keywords:

Maturation, biological age, puberty, adolescence, risk of injury

I agree the thesis paper to be lent within the library service.

Prohlašuji, že jsem tuto práci zpracovala samostatně pod vedením Mgr. Ivany Hanzlíkové, PhD., uvedla všechny použité literární a odborné zdroje a dodržovala zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 26. dubna 2024

.....

Děkuji vedoucí práce Mgr. Ivaně Hanzlíkové, Ph.D. za pomoc a cenné rady při vedení této práce. Děkuji také dalším pracovníkům podílejícím se na výzkumu, jehož byla diplomová práce součástí. V neposlední řadě děkuji rodině za podporu po celou dobu studia.

OBSAH

Obsah	7
1 Úvod	9
2 Přehled poznatků	10
2.1 Maturace	10
2.1.1 Hodnocení maturace	10
2.1.2 Rozdíl mezi chronologickým a biologickým věkem	17
2.1.3 Senzitivní období v dětství a dospívání	18
2.2 Riziko zranění.....	20
2.2.1 Četnost zranění během maturace.....	20
2.2.2 Změny související s maturací jako rizikové faktory zranění	21
2.2.3 Nejčastější zranění typická pro věkovou kategorii 7-15 let.....	24
2.2.4 Nejčastější zranění typická pro volejbal	25
2.2.5 Hodnocení rizikových faktorů.....	25
3 Cíle.....	33
3.1 Hlavní cíl.....	33
3.2 Dílčí cíle	33
3.3 Výzkumné hypotézy.....	33
4 Metodika	35
4.1 Výzkumný soubor	35
4.2 Metody sběru dat	35
4.2.1 Antropometrické měření.....	36
4.2.2 Předpokládaná výška v dospělosti	36
4.2.3 Maturační status	37
4.2.4 Landing Error Scoring System.....	37
4.2.5 Hypermobilita.....	38
4.2.6 Statestezie	39
4.2.7 Somatognozie	39
4.2.8 Reakční čas	40
4.2.9 Dynamická rovnováha	41
4.3 Statistické zpracování dat	42

5	Výsledky.....	43
5.1	Charakteristika výzkumného souboru	43
5.2	Výsledky korelací.....	44
5.3	Porovnání LESS mezi skupinami.....	45
5.4	Porovnání Beighton skóre mezi skupinami.....	46
5.5	Porovnání statestezie mezi skupinami.....	46
5.6	Porovnání somatognozie mezi skupinami	47
5.7	Porovnání reakčního času mezi skupinami	48
5.8	Porovnání dynamické rovnováhy mezi skupinami.....	49
5.8.1	Porovnání rychlosti centra tlaku mezi skupinami.....	49
5.8.2	Porovnání rozsahu pohybu centra tlaku mezi skupinami.....	50
6	Diskuse.....	51
6.1	Diskuse k výzkumnému souboru	51
6.2	Diskuse k metodice práce	52
6.3	Diskuse k výsledkům	55
6.3.1	Diskuse k hypotéze H_01	55
6.3.2	Diskuse k hypotéze H_02	56
6.3.3	Diskuse k hypotéze H_03	57
6.3.4	Diskuse k hypotéze H_04	58
6.3.5	Diskuse k hypotéze H_05	59
6.3.6	Diskuse k hypotéze H_06	59
6.4	Limitace práce a doporučení pro další výzkum.....	61
7	Závěry	62
8	Souhrn	64
9	Summary.....	66
10	Referenční seznam	68
11	Seznam zkratk.....	79
12	Přílohy.....	80
12.1	Vyjádření etické komise	80
12.2	Vzor informovaného souhlasu	81

1 ÚVOD

Mnoho studií v současné literatuře dokazuje rozdílnost chronologického a biologického věku u dospívajících jedinců (Li et al., 2023; Lloyd, Oliver, Faigenbaum, Myer, & De Ste Croix, 2014; Lopez-Valenciano et al., 2023). V rámci jedné sportovní kategorie tak bok po boku trénují a hrají hráči různě vyspělí, což může znamenat vyšší riziko zranění (Malina et al., 2019).

Základní ukazatele biologické maturace jsou kostní, sexuální a somatické. V běžné praxi je výhodné využívat zejména somatické indikátory. Jejich měření je poměrně jednoduché a nenákladné, i když je potřeba poměrně častého opakování (Beunen, Rogol, & Malina, 2006).

Sledování somatických indikátorů, konkrétně nárůstu tělesné výšky v čase, pomáhá zachytit tzv. peak high velocity (PHV). PHV je období maximálního tempa růstu do výšky. Právě v tomto období se zvyrazňují rozdíly mezi pohlavími a dívky se stávají zranitelnějšími. Dochází u nich například ke zvýšení laxicity vazů, změně valgózního úhlu kolene nebo zvýšení objemu tukové hmoty (Lloyd et al., 2014).

Období adolescence je tak v důsledku probíhajících změn řízených nervovým a hormonálním systémem, obdobím rizikovým. Je tedy potřeba brát v potaz riziko zranění (Beunen et al., 2006).

Riziko zranění dolních končetin lze hodnotit různými testy. Mimo jiné pomocí hodnocení Landing Error Scoring System (LESS), generalizované hypermobility nebo hodnocení balančních schopností. Předpokládá se, že riziko zranění se v průběhu dospívání mění.

Proto je cílem diplomové práce zjistit, jak se mění riziko zranění dolních končetin v rámci různých maturačních skupin. Znalost, jak se rizikové faktory mění v rámci maturace může přispět k vytvoření specifických preventivních programů pro danou populaci.

2 PŘEHLED POZNATKŮ

2.1 Maturace

Chronologický věk je věk na základě data narození. Biologická maturace se však může u jedinců se stejným chronologickým věkem lišit. Biologický věk lépe a přesněji ukazuje vývoj jedince, a proto se ve studiích upřednostňuje před chronologickým věkem (Li et al., 2023; Lloyd et al., 2014; Lopez-Valenciano et al., 2023).

Maturace (zrání) je proces, který vede k biologicky zralé postavě (Lloyd et al., 2014). Adolescence v rámci maturace představuje progresivní dynamické období, charakteristické fyzickým, psychickým a sociálním rozvojem, který je vysoce individuální (Burton et al., 2023). U jednotlivců stejného chronologického věku se liší úrovní maturace (velikostí změny), tempem (rychlostí změny) a načasováním (počátkem změny) (Lloyd et al., 2014; Malina et al., 2019).

V závislosti na této znalosti je dítě-adolescent buď včas dospívající (biologický a chronologický věk se shoduje), brzy dospívající (biologický věk je před svým chronologickým věkem) nebo pozdně dospívající (biologický věk je za svým chronologickým věkem) (Lloyd et al., 2014).

V rámci zjištění načasování maturace lze používat více indikátorů, zejména sexuálních (viz. kapitola 2.1.1.2.), nicméně nejčastějším indikátorem je tzv. peak high velocity (PHV), tedy období, v němž dochází k maximálnímu tempu růstu do výšky. Toto období se objevuje v rámci pubertálního růstového spurtu (viz. kapitola 2.1.1.3.) a bývá dáváno do souvislosti se zvýšeným rizikem zranění (Malina et al., 2019; Williams, Ramires-Campillo, Chaaben, & Moran, 2021). A to zejména jako důsledek zvýšení tahových sil na svalové úpony, snížení koncentrace kostní matrix, snížení nervosvalové kontroly a další (Toselli, Benedetti, Di Miceli, Aiello, & Nanni, 2021).

Biologická maturace je spojena se změnami strukturálních a fyziologických procesů v průběhu dětství a dospívání a hodnotí se pomocí různých metod, které budou popsány v následujících kapitolách (Lloyd et al., 2014).

2.1.1 Hodnocení maturace

Maturace probíhá ve všech tkáních a orgánových soustavách těla. Běžně používané indikátory pro hodnocení maturace jsou: kostní, sexuální a somatické (Beunen et al., 2006; Lloyd et al., 2014). Méně častým indikátorem je zubní maturace, která má ovšem tendenci probíhat nezávisle na ostatních třech zmíněných systémech, proto zde nebude blíže popsána.

Vzájemnou souvislost kostních, sexuálních a somatických ukazatelů biologické maturace zkoumali autoři Beunen et al. (2006) na vzorku 111 polských chlapců longitudinálně

od 8 do 18 let. Korelace mezi jednotlivými ukazateli byly vysoké, mnohdy nad 0,80. Žádná korelace mezi jednotlivými ukazateli nebyla nižší než 0,70. Tato analýza tak poukazuje na regulaci načasování zrání různých systémů nervovým a hormonálním systémem (Beunen et al., 2006).

2.1.1.1 Kostní indikátory

Za zlatý standard pro hodnocení stupně maturace je považován kostní věk, pro jehož zjištění je třeba rentgenový snímek (Olivares, De León, & Fragoso, 2020). Kostní věk označuje stupeň maturace podle vývoje kostní tkáně u dítěte/dospívajícího. Snímky hodnotí vyškolený lékařský personál.

Zrání kostí je dlouhodobý proces začínající v prenatální fázi růstu a směřující ke kompletně vyvinuté kostře v dospělosti (Lloyd et al., 2014). U tubulárních kostí je zralost definována jako srůst epifýz s příslušnými diafýzami. U nepravidelně tvarovaných kostí je plné zralosti dosaženo ve chvíli, kdy získají svou dospělou morfologii (Beunen et al., 2006). Vývoj kosti na rentgenovém snímku lze pozorovat od časně osifikace až po plně zralou kostní tkáň. Nejčastěji se používá rentgenový snímek levé ruky a zápěstí (Lloyd et al., 2014).

Kostní věk lze hodnotit různými způsoby. Nejvyužívanější jsou metody Fellova, Greulich-Pyle a Tanner-Whitehouse. Fellova metoda poskytuje hodnocení věku ze snímků pro radius, ulnu, zápěstí a ruku. Je měřen poměr mezi délkou a šířkou epifýzy a metafýzy dlouhých kostí (metrický maturační index). Současně se zaznamenává stupeň osifikace os pisiforme a sezamské kůstky v m. adductor pollicis (maturační index). Metoda vznikla na podkladě Fellovy longitudinální studie probíhající mezi lety 1930 až 1970, kdy bylo hodnoceno výše popsaným způsobem celkem 223 chlapců a 210 dívek ve věku 18 let (Khamis & Roche, 1994; Lloyd et al., 2014).

Greulich-Pyle metoda srovnává snímky zápěstí, konkrétně tvar a zralost osifikačních center, s referenčními rentgenovými deskami různé úrovně zrání kostí a podle tohoto porovnání určuje kostní věk. Tato metoda nezohledňuje individuální vývoj různých kostí, a tak všechny kosti jsou srovnávány se stejnými rentgenovými deskami (Lloyd et al., 2014).

Tanner-Whitehouse metoda pracuje s několika snímky ruky a zápěstí, které následně porovnává s řadou analýz tvaru kostí. Hodnotí celkem 20 kostí (radius, ulna, karpální kosti mimo os pisiforme, metakarpální kosti a falangy prvního, třetího a pátého prstu). Každé kosti je přiřazeno skóre (stupně A až I) na základě různých kritérií a poté se dají jednotlivá skóre dohromady a převedou se na kostní věk. Je podrobnější než Greulich-Pyle metoda (Martín Pérez et al., 2023).

Jako pokročilejší metodu lze využít také magnetickou rezonanci (MRI). Lze ji pro zjištění kostního věku využít například na klíční kosti, kostech ruky a kolenním kloubu. Hodnocení kostního věku dle magnetické rezonance (MRI) kolenního kloubu je založeno na sledování šířky epifyzární ploténky v distální části femuru a proximální části tibie. Obtížná je ovšem standardizace této metody z důvodu velké variability v získání snímků, tak i v jejich interpretaci (Ording Muller et al., 2023).

Další alternativou k nejběžnějším třem výše zmíněným metodám je analýza radiologických snímků krčních obratlů C2-C4. Provádění těchto snímků je dle autorů systematického přehledu a meta-analýzy Cericato, Bittencourt a Paranhos (2015) rutinou v ortodontické praxi. Hodnotí se jejich změny a úroveň maturace. Z 19 použitých studií došli autoři k závěru, že indexy maturace krčních obratlů jsou dostatečně spolehlivé na to, aby nahradily rentgenové snímky ruky a zápěstí pro predikci pubertálního růstového spurtu. V případě provádění těchto snímků již v rámci ortodontie by nebylo tělo dítěte/dospívajícího zatíženo dalším rentgenovým zářením (Cericato et al., 2015).

Mimo rentgenového záření je nevýhodou určování kostního věku nutnost sofistikovaného vybavení a speciálně vyškolených lidí na posouzení radiologických snímků. Z tohoto důvodu byly vyvinuty neinvazivní metody, které kostní věk pro zjištění stupně maturaci nevyužívají (Olivares et al., 2020).

2.1.1.2 Sexuální indikátory

Sexuální věk udává stupeň maturace vzhledem k plně funkční reprodukční schopnosti. Běžně je hodnocen pozorováním sekundárních pohlavních znaků. Časté je hodnocení pomocí pětibodové Tannerovy stupnice (Marshall & Tanner, 1969). U dívek se v rámci stupnice pozoruje vývoj prsou, pubického ochlupení a věk při menarché, u chlapců vývoj genitálu a pubického ochlupení. Hodnocení provádí lékař nebo dítě samo tím, že porovnává své sexuální charakteristiky s kresbami nebo fotografiemi. Dle výzkumu i druhý způsob hodnocení přináší spolehlivé a reprodukovatelné údaje (Marshall & Tanner, 1969).

Dle Tannera probíhá zrání v pěti stádiích. Stádium 1 každé z popisovaných charakteristik označuje prepubertální stav (absenci vývoje). Stádium 2 označuje počáteční vývoj každé charakteristiky, tedy přechod do puberty. Stádia 3 a 4 popisují další pokrok v maturaci, tedy pozdní fázi puberty. Stádium 5 je již dospělý, plně zralý, stav (Beunen et al., 2006).

Někteří autoři využívají k analýze maturace pouze věku při menarché. Nicméně toto užítí by mělo být omezené, jelikož dívka, která je před menarché nemusí být současně prepubertální (Lloyd et al., 2014). Průměrný věk dívek při menarché je $12,9 \pm 0,9$ let. Dle studie vypracované

autory Malina, Rogol, Cumming, Coelho-e-Silva a Figueiredo (2015) se menarché obvykle vyskytuje až po PHV (Malina et al., 2015).

Dívky jsou v sexuální i kostní zralosti ve srovnání s chlapci vyspělejší (Cumming, Standage, Gillison, & Malina, 2008). Sexuální indikátory z velké části definují pubertu, která je mimo tyto faktory charakterizovaná i například progresí růstu (Marshall & Tanner, 1969). Věk na začátku puberty se liší mezi jedinci, ale také mezi rasami a pohlavími. Dívky zažívají průměrně dřívější nástup do puberty. Mají také vyšší pravděpodobnost idiopatické předčasné puberty, oproti tomu u chlapců bývá častěji idiopatická opožděná puberta. Za normu je považován vstup do puberty u dívek v 8 až 12 letech, u chlapců v 9 až 14 letech (Abreu & Kaiser, 2016).

Adolescenti ve stejné věkové kategorii mohou mít různé úrovně sexuální maturace a mohou být různě fyzicky zdatní. V průběhu sexuální maturace může dojít ke snížení pohybové aktivity. Důvody takového snížení mohou být různé. Dle některých jde o důsledek uvolňování hormonů zprostředkované hypotalamo-hypofyzárním systémem. Další hypotézou je zvýšená potřeba energie k podpoře růstu a tím pádem méně energie pro fyzickou aktivitu (Campos et al., 2021).

Nevýhodou zjišťování sexuálních indikátorů u dospívajících a jejich používání k hodnocení maturace je intimita, která se s touto oblastí pojí a nemusí tak být snadné najít probandy, kteří jsou ochotni stupeň své sexuální maturace zaznamenat (Lloyd et al., 2014).

2.1.1.3 Somatické indikátory

Somatický věk souvisí s konkrétními rozměry těla nebo tělesnou výškou. Velmi časté je hodnocení výšky jedince. Tělesný růst má nelineární vývoj. Mezi měřítka somatického věku na základě vzrůstu jedince patří hodnocení longitudinální růstové křivky, predikce věku při PHV nebo například procento z predikované výšky v dospělosti. Změny endokrinního systému, které doprovázejí pohlavní maturaci, tedy i pubertu, stimulují kostní růst a progreduje tak i růst tělesných rozměrů. Hodnocení zahrnuje antropometrické měření postavy, včetně hodnocení délek či šířek jednotlivých částí a tělesné hmotnosti (Lloyd et al., 2014).

Před začátkem dospívání mají chlapci a dívky podobnou rychlost maturace. Rozdíly mezi pohlavími se zvýrazňují při nástupu růstového spurtu. Dívky prochází změnami specifickými pro jejich pohlaví, například zvýšením objemu tukové hmoty, zvýšením laxicity kloubů, změnou valgózního úhlu kolene, zvýšeným poměrem využití kvadricepsu a hamstringů. Tyto změny jsou zároveň faktory zvyšujícími riziko zranění u dívek (Lloyd et al., 2014).

Během růstového spurtu a puberty je rozdíl mezi chlapci a dívkami stejného chronologického věku přibližně 2 roky. Konečné výšky dívky také dosahují o 2 roky dříve (Cumming et al., 2008). Jedinci označovaní jako předčasně dospívající mají PHV o jeden rok dříve

oproti průměru, pozdně dospívající o jeden rok později. PHV bývá průměrně u chlapců okolo 14 let věku a u dívek okolo 12 let věku (Lloyd et al., 2014). Malina et al. (2015) udává širší rozpětí, konkrétně u chlapců 11,5 až 17,3 let, u dívek 9–15 let. V tuto dobu mohou dívky vyrůst o cca 8 cm/rok a chlapci o 10 cm/rok (Williams et al., 2021). Jedním z omezení používání orientace dle PHV je, že je nutné mladistvé dlouhodobě sledovat z pohledu tělesné výšky pro zjištění PHV (Lloyd et al., 2014).

Adolescentní spurt maturace jde od distálních segmentů (chodidlo a kotník) směrem proximálně. Spurt trupu následuje po růstu dolních končetin (Malina et al., 2019). Během středního až pozdního dětství se začne zrychlovat tempo růstu do výšky, tím začíná adolescentní růstový spurt. Rychlost se postupně zvyšuje až dosáhne PHV a poté se zpomaluje až nakonec ustává v pozdní adolescenci. Doba mezi začátkem spurtu a PHV je $3,1 \pm 0,8$ roku (Malina, Martinho, Valente-dos-Santos, Coelho-e-Silva, & Kozieł, 2021).

2.1.1.3.1 *Metody hodnocení maturace na základě somatických indikátorů*

V poslední době se ve studiích týkajících se maturace mladých sportovců využívají rovnice pracující s chronologickým věkem, výškou, případně výškou v sedu, délkou dolních končetin a hmotností (Malina et al., 2019).

Metoda Mirwalda

Pokud nelze sledovat tělesnou výšku dlouhodobě, využívá se výpočet věku při PHV rovnicemi Mirwalda. Koncept vychází z faktu, že dlouhé kosti dolních končetin dozrávají rychleji než krátké kosti trupu. Díky této znalosti lze určit, jak dlouho bude trvat, než jedinec dosáhne PHV. Standartní odchylka při použití této prediktivní rovnice je asi 6 měsíců, přičemž proměnné jsou chronologický věk, tělesná hmotnost, výška jedince ve stoje i v sedě. Rovnice se liší pro muže a ženy (Lloyd et al., 2014; Mirwald, Baxter-Jones, Bailey, & Beunen, 2002). Rovnice Mirwalda pro dívky = $-16,364 + 0,0002309 \times (\text{délka dolních končetin} \times \text{výška v sedě}) + 0,006277 \times (\text{věk} \times \text{výška v sedě}) + 0,179 \times (\text{poměr délky dolních končetin a výšky ve stoji}) + 0,0009428 \times (\text{věk} \times \text{výška ve stoji})$ (Mirwald et al., 2002).

Metody pracující s procentem z předpokládané výšky

Některé další metody hodnocení maturace na základě somatických indikátorů pracují s procentem z předpokládané výšky v dospělosti. Díky tomu lze například určit, zda je jedinec geneticky predisponovaný k vysoké postavě anebo jen dospívá dříve. Podle toho je možné například vybírat sport, případně vhodnou pozici pro konkrétní postavu. Při výpočtech předpokládané výšky v dospělosti se pracuje s průměrnou výškou biologických rodičů, kterou lze vypočítat různě (Lloyd et al., 2014; Malina et al., 2019). Lloyd et al. (2014) uvádí výpočet průměrné výšky rodičů pro dívky = $(\text{výška matky} + \text{výška otce} - 13) / 2$. Výpočet průměrné výšky

rodičů pro chlapce = (výška matky + výška otce + 13) / 2. V rozmezí $\pm 6,5$ cm od této hodnoty by se měla vyskytovat výška sledovaného v dospělosti. Obecně metody pracující s predikcí výšky v dospělosti mívají standardní odchylku většinou 3–5 cm. Tato odchylka se s rostoucím věkem snižuje (Lloyd et al., 2014).

Metoda Khamis-Roche

Khamis a Roche (1994) vytvořili predikční model, kde se využívá aktuální hmotnost, tělesná výška, chronologický věk dítěte a průměrná výška rodičů (Khamis & Roche, 1994). Vznikla zjednodušením metody Roche-Wainer-Tissen (RWT), která byla považována za nejpřesnější metodu pro predikci procenta z výšky dospělého u dětí bez závažných patologických stavů. RWT metoda využívá hodnoty průměrné výšky biologických rodičů, aktuální výšky a hmotnosti dítěte, a navíc i kostní věk. Kostní věk byl v původní RWT metodě stanovován pomocí Felsovy metody, později v modifikované RWT metodě pomocí Greulich-Pyle metody (Khamis & Roche, 1994; Olivares et al., 2020).

Khamis-Roche metoda pracuje taktéž s hodnotami průměrné výšky biologických rodičů (vypočtené jako (výška matky + výška otce) / 2), aktuální výškou a hmotností dítěte. Nevyužívá ovšem k výpočtu kostní věk (Khamis & Roche, 1994; Olivares et al., 2020). Z uvedených hodnot se poté odhaduje výška jedince v dospělosti (Khamis & Roche, 1994; Lloyd et al., 2014). Předpokládaná výška v dospělosti (PAH) = $\beta_0 + \beta_1 \times \text{výška} + \beta_2 \times \text{hmotnost} + \beta_3 \times \text{průměrná výška rodiče}$. β_1 , β_2 , β_3 jsou koeficienty, kterými se zadané hodnoty výšky, hmotnosti a průměrné výšky rodičů násobí. Jejich hodnoty jsou tabulkově přiřazené ke konkrétnímu chronologickému věku od 4 do 17,5 let a liší se pro chlapce a dívky. Údaj o výšce probanda a průměrné výšce rodičů je udáván v palcích (in), údaj o hmotnosti v librách (lb). Tato metoda a stejně tak tabulkové hodnoty jsou určeny pro bílou rasu (Khamis & Roche, 1994).

Khamis a Roche (1994) také zkoumali, jak se budou závěry jejich výpočtů lišit od závěrů RWT metody. Jelikož se tyto metody liší pouze v použití kostního věku, dá se říci, že jde o porovnání s hodnotami kostního věku. V 90% intervalech spolehlivosti mělo vynechání kostního věku u metody Khamis-Roche oproti metodě RWT jen malý vliv u dětí ve věku do 7 let. U chlapců od 7 do 12 let byly hranice odchylek v 90% intervalech spolehlivosti pro předpovědi metodou Khamis-Roche větší o 0,61 cm, u dívek ve věku od 7 do 10 let větší o 0,41 cm oproti RWT metodě. Poté se rozdíly zvyšovaly do věku 14 let u chlapců (2,54 cm) a 11,5 let u dívek (1,27 cm). Od tohoto věku se hodnoty odchylek opět snižovaly.

Dá se tedy shrnout, že se jedná o spolehlivou metodu využitelnou u dětí bílé rasy bez patologických stavů (Khamis & Roche, 1994). Dle Olivares et al. (2020) se jedná o nejpřesnější metodu pro predikci procentuální výšky z výšky dospělého bez využití kostního věku (Olivares et al., 2020). Dle autorů Coelho-e-Silva et al. (2010) je metoda Khamis-Roche

validní. Khamis-Roche metoda proto byla využita v této diplomové práci k posouzení stavu biologické maturace.

Metoda Beunen-Malina

Beunen et al. (1997) vytvořili další rovnici, jejíž proměnné jsou chronologický věk, tělesná výška ve stoje i v sedě, subscapulární a tricepsová kožní řasa (Beunen et al., 1997; Lloyd et al., 2014). Výhodou metody je, že není potřeba znát výšky rodičů (Coelho-e-Silva et al., 2010). Byla popsána pro chlapce ve věku 13–16 let.

Metoda byla porovnáována s Tanner-Whitehouse metodou pro predikci postavy v dospělosti, která využívá kostní věk, chronologický věk a aktuální postavu. Korelační koeficient byl pro 12letého jedince 0,70 a postupně rostl až dosáhl 0,87 ve věku 16 let (Beunen et al., 1997).

Metoda Cole-Wright

Cole a Wright zkoumali hodnoty tělesné výšky rodičů v populaci a vztah k výšce jejich dětí. Vytvořili model, kde je třeba znát pouze aktuální výšku probanda ve stoje. Ta se následně porovnává s průměrem ve společnosti, a tak je predikována výška v dospělosti (Lloyd et al., 2014).

Metoda Sherar a spol.

Na základě rovnic Mirwalda vyvinuli Sherar, Mirwald, Baxter-Jones, a Thomis (2005) další neinvazivní metodu pro predikci výšky v dospělosti. Zatímco Mirwald se zabýval tím, v jaké fázi se tělo probanda nachází vzhledem k růstovému spurtu, Sherar tato data využil pro výpočet předpokládané výšky v dospělosti. Sherar z dat zjistil, jaká výška ještě dospívajícímu „zbývá“ k růstu a z tohoto predikoval budoucí výšku v dospělosti. Standartní odchylky byly $\pm 5,35$ cm u chlapců a $\pm 6,81$ cm u dívek oproti skutečným, později zjištěným výškám v dospělosti (Lloyd et al., 2014; Sherar et al., 2005).

Porovnání jednotlivých metod

Přestože existují odchylky při dospívání mezi indikátory kostní, pohlavní a somatické maturace, metody využívané k jejich hodnocení mají střední až vysoké shody ($r > 0,70$). Pro zachycení růstového spurtu by mělo být hodnocení prováděno asi každé tři měsíce (Lloyd et al., 2014).

Predikce výšky v dospělosti zahrnující mezi indikátory kostní věk jsou brány obecně za přesnější než predikce bez využití kostního věku. V této souvislosti uvádí Malina et al. (2019) porovnání dvou rovnic pro predikci výšky. Jedna využívá chronologický věk, aktuální výšku a hmotnost, a průměrnou výšku rodičů, druhá to stejné plus kostní věk. Tyto rovnice byly porovnány u hráčů amerického fotbalu a klasického fotbalu. Shoda mezi rovnicemi byla u hráčů amerického fotbalu 71 %, u fotbalistů 82 % (Malina et al., 2019).

Autoři Ruf et al. (2021) porovnávali odhadovaný věk, ve kterém jedinec dosáhne své finální výšky a kostní věk BAUS (neinvasivní metoda pomocí ultrasonografické technologie pro odhad kostního věku) jakožto indikátory biologické maturace u mladých fotbalistů. Obě metody byly zjištěny jako validní pro hodnocení biologické zralosti, nicméně Spearmanovy korelace odhalily korelační koeficient pouze $\rho=0,45-0,52$ (Ruf et al., 2021).

Malina, Dompier, Powell, Barron a Moore (2007) zkoumali shodu mezi maturací hodnocenou na základě kostního věku Felsovou metodou a procentem z předpokládané výšky v dospělosti u hráčů amerického fotbalu ve věku 9-14 let. Zjistili střední korelaci: u hráčů pod 11 let byla korelace 69 %, věku 11 až 12 let 52 % a u hráčů 13 let a více 67 %. Podobně střední korelace těchto indikátorů byla u hráčů klasického fotbalu ve věku 11 až 12 let (shoda 57 %) a ve věku 13 až 14 let (shoda 63 %). Oproti tomu Spearmanova korelace mezi Tannerovou metodou a maturací na základě procenta z předpokládané výšky v dospělosti byla signifikantní pro děti 11 až 12 let a 13-14 let, dle korelačního koeficientu se jednalo o střední korelaci (Malina, Coelho-e-Silva, Figueiredo, Carling, & Beunen, 2012).

2.1.2 Rozdíl mezi chronologickým a biologickým věkem

Hodnoty biologického a chronologického věku se mohou, na základě výše popsaného, lišit. Almeida-Neto et al. (2020) ukázali na vzorku 37 dospívajících brazilských atletů, že jedinci měli opožděné dozrávání skeletu (kostní věk za chronologickým věkem). Chronologický věk byl $11,3 \pm 0,96$ let, zatímco kostní věk byl $10,3 \pm 1,21$. Somaticky byli před vrcholem PHV a v rámci sexuálního dozrávání byli prepubertální (Almeida-Neto et al., 2020).

Podobně ve studii Pinto et al. (2017) zkoumali 89 adolescentů (45 chlapců, 44 dívek) s chronologickým věkem $11,54 \pm 1,23$ roku. Jejich kostní věk byl $10,64 \pm 1,55$ roku. Z 44 zkoumaných adolescentek bylo 16 pozdně dospívajících, jelikož jejich kostní věk byl $9,37 \pm 1,07$ roku, zatímco kalendářní věk byl $10,99 \pm 0,94$ roku (Pinto et al., 2017).

Také prepubertální děti se liší úrovní kostního zrání. U chlapců měřených těsně před osmými narozeninami byl rozptýl kostního věku 6,3 až 9,3 let. Je tedy zřejmé, že děti a adolescenti se stejným chronologickým věkem mohou mít odlišný biologický věk (Malina, Dompier, Powell, Barron, & Moore, 2007).

Gillison, Cumming, Standage, Barnaby a Katzmarzyk (2017) pro odhad biologického věku porovnali procento z předpokládané výšky v dospělosti s průměrnými hodnotami specifickými pro dané pohlaví a věk. Tyto hodnoty byly vytvořeny z údajů o Spojeném království z roku 1990. Na výzkumném souboru 407 dětí ve věku 9–11 let poté zjistili rozdíl mezi chronologickým a biologickým věkem $0,18 \pm 0,6$ roku (Gillison et al., 2017).

Malina (2011) srovnával biologickou maturaci dle kostního věku s chronologickým věkem u mladých sportovců. Kostní a chronologický věk se lišil, a proto dle závěru studie nelze pomocí hodnocení kostního věku predikovat chronologický

Také v době PHV a v době menarché byla prokázána velká variabilita v chronologickém věku, v kostním věku byla tahle variabilita již menší (Beunen et al., 2006).

V současné době se rozvíjí tzv. bio-banding, tedy seskupování mladých sportovců do skupin ne podle chronologického věku, ale podle procenta z předpokládané výšky v dospělosti, tedy podle biologického věku. Odchyly v mezi jedinci budou přítomny vždy, nicméně rizika tohoto seskupování by měly být menší než ve skupinách dle chronologického věku. Skupiny nejsou fixní a lze je upravovat. Bio-banding nemá řazení dle chronologického věku nahradit, ale doplnit jej. Je potenciálně užitečný pro identifikaci a rozvoj talentů (Malina et al., 2019).

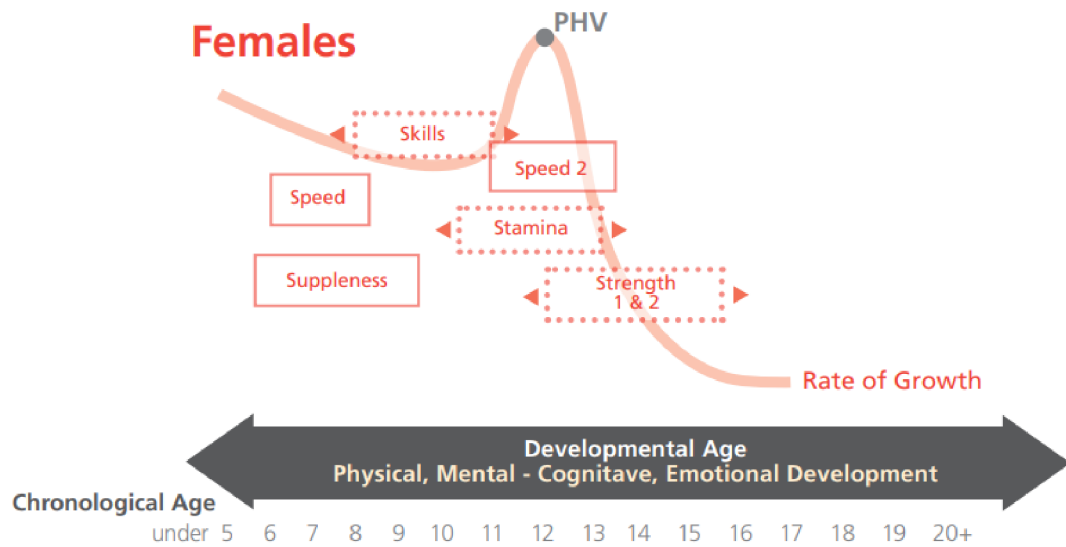
2.1.3 Senzitivní období v dětství a dospívání

Během dětství a dospívání popisují někteří autoři ve vývoji senzitivní období, tzv. okna příležitostí, která jsou optimální pro trénink určitých motorických dovedností (Van Hooren & De Ste Croix, 2020). Jedná se o časové rámce, kdy jedinci obzvlášť reagují na specifické typy tréninku a učení konkrétní dovednosti je obzvlášť efektivní. Mimo tyto rámce lze učení provádět také, ale není tolik efektivní. Obecně lze v podstatě celé dětství brát jako senzitivní období pro rozvoj motorických schopností.

Senzitivní období pro adaptaci na trénink, která jsou přítomna v dětství před adolescencí jsou založena na chronologickém věku. Naopak období nastávající během adolescence, tedy i růstového spurtu a po něm jsou založena na vztahu k maturaci (např. PHV nebo menarché) (Obrázek 1) (Way et al., 2016).

Obrázek 1

Schéma senzitivních oken v rámci vývoje dívek (Way et al., 2016)



*plné čáry představují senzitivní období založená na chronologickém věku, tečkované čáry na senzitivní období založená na biologickém věku

Senzitivní období pro vytrvalost je založeno na maturaci a objevuje se u dospívajícího na začátku růstového spurtu. Rozvoj vytrvalosti je zaměřen na zvýšení výkonnosti aerobního systému, který je hodnocen pomocí parametrů aerobního výkonu a aerobní kapacity. Trénink aerobní kapacity, tedy využívání co největší možné spotřeby kyslíku (VO_2) co nejdéle, je nejefektivnější před dosažením PHV, naopak na trénink aerobního výkonu, tedy maximální spotřeby kyslíku (VO_{2max}), je dobré se zaměřit po PHV (Way et al., 2016).

Senzitivní období pro sílu je také založeno na maturačních markerech. Zatímco u dívek lze efektivněji zvyšovat sílu bezprostředně po PHV nebo v období menarché, u chlapců je to 12 až 18 měsíců po PHV (Way et al., 2016).

Okna příležitostí pro rychlost jsou popisována dvě a mezi pohlavími se liší. První období nastává u dívek ve věku 6 až 8 let, u chlapců ve věku 7 až 9 let. Druhé senzitivní období bývá u dívek mezi 11. a 13. rokem, u chlapců mezi 13. a 16. rokem. Trénink rychlosti je tedy založen na chronologickém věku (Way et al., 2016).

Flexibilitu je nejvýhodnější trénovat mezi 6. a 10 rokem věku, a to u obou pohlaví. Při rozvoji flexibility během puberty je třeba věnovat zvláštní pozornost namáhání svalů, šlach a vazů způsobené rychlým růstem kostí (Way et al., 2016).

Obecně dovednosti, šikovnost lze nejlépe učit před nástupem růstového spurtu u adolescentů, což odpovídá cca u dívek věku 8 až 11 let, u chlapců 9 až 12 let. Jedná se o senzitivní okno vztahující se k biologickému věku.

Co se týče dovedností, jejichž senzitivní okna záleží na biologickém věku, je doporučeno dětem a dospívajícím měřit výšku každé tři měsíce pro sledování růstu a identifikaci nástupu růstového spurtu a PHV. Takové sledování maturace umožňuje plánování tréninku zaměřeného právě na senzitivní období (Way et al., 2016). O existenci senzitivních období ovšem stále dle některých autorů panují pochyby (Van Hooren & De Ste Croix, 2020).

2.2 Riziko zranění

2.2.1 Četnost zranění během maturace

Riziko zranění a zároveň jejich závažnost u sportovců adolescentů kolem PHV je dle autorů Towlson et al. (2021) zvýšené oproti sportujícím dětem nebo dospělým (Towlson et al., 2021). U dětí ve věku 10–14 let je zraněných jedinců při sportu odhadem 5 387,3 na 100 000 obyvatel. Oproti tomu u dětí 5–9 let to je 2 825,8 zraněných na 100 000 a u dospívajících ve věku 15–19 let 4 106,5 na 100 000 obyvatel (Quatman-Yates, Quatman, Meszaros, Paterno, & Hewett, 2012). Vysvětlením je dle autorů tréninková zátěž v kombinaci s poměrně rychlými změnami v růstu dospívajícího. Mladí lidé, kteří absolvují více hodin tréninku za týden, než je jejich věk v letech, mají vyšší riziko zranění. Stejně tak i ti, jejichž sport a volný čas jsou v poměru více než 2:1. Výskyt zranění se v rámci období adolescence zvyšuje s věkem (Towlson et al., 2021).

Podobně jako předchozí, uvádí i autoři Sullivan et al. (2023) zvyšující se riziko zranění kolem věku 13–14 let, tedy kolem období PHV, což zdůvodňují pomalou adaptací svalů a šlach na změny délky kostí a vysokým objemem tréninků. Současně mohou přispět i hormonální změny, které ovlivňují pevnost šlach a vazů nebo i složení těla (Sullivan et al., 2023).

Zatímco zranění související s růstem (např. aseptické kostní nekrózy) se vyskytují zejména před a při PHV, svalová poranění a poranění kloubů dolních končetin se objevují častěji až po PHV (Sullivan et al., 2023).

Oproti tomu autoři Pringle, McNair a Stanley (1998) popisovali u hráčů ve věku 6–15 let hrajících rugby nebo netball incidenci zranění nižší, než je tomu u dospělých jedinců v těchto sportech. Dodali ovšem, že rozdíl v míře zranění mezi těmito věkovými kategoriemi může souviset s velikostí síly vyvíjené dětmi versus dospělými, upravenými pravidly hry u dětí, případně lepšími zdravotními faktory u dětí, jako je činnost kardiovaskulárního systému nebo míra flexibility. V rámci jimi použité věkové kategorie 6–15 let byla výrazně nejvyšší incidence zranění na 1000 odehraných hodin u jedinců ve věku 14 let.

Co se týče souvislosti biologického a chronologického věku, popisují autoři Van der Sluis et al. (2013) zvýšené riziko zranění u těch hráčů fotbalu, kteří dospívají pozdě (biologický věk je za chronologickým). Naopak Sullivan et al. (2023) udává vyšší riziko zranění ve sportu u dříve dospívajících (biologický věk je před chronologickým), přičemž takto dospívající mají vyšší závažnost zranění v období před PHV, pozdě dospívající trpí na závažnější zranění až v dospělosti. Podobně i autoři Costa-e-Silva, Fragoso a Teles (2017) popisují častější zranění u dříve dospívajících dívek, obzvláště v období těsně po PHV (Costa-e-Silva et al., 2017).

Riziko zranění v době růstového spurtu potvrzuje i studie autorů Van der Sluis et al. (2013), kteří sledovali 26 mladých fotbalistů (průměrný věk $11,9 \pm 0,84$ let) po dobu 3 let v období kolem PHV. Opakovaným měřením zjistili, že tito jedinci měli významně více traumatických zranění při sportu v roce s PHV oproti roku předcházejícímu. Nejvíce poranění bylo na dolních končetinách (82 %). Nejčastěji se jednalo o svalová poranění (57 %), dále poranění kloubů a vazů (20,8 %) a hematomy a pohmožděniny (12,9 %) (Van der Sluis et al., 2013).

2.2.2 Změny související s maturací jako rizikové faktory zranění

2.2.2.1 Růstový spurt jako rizikový faktor

Dle autorů Towlson et al. (2021) během růstového spurtu dochází ke změnám tuhosti kloubů, hustoty kostí, ke vzniku nebo prohloubení nerovnováhy mezi silou a flexibilitou. Progresivní růst klade vyšší nároky na šlachy, apofýzy kostí, ligamenta a chrupavky. Tyto tkáně nejsou okamžitě schopny se se zvýšenými nároky vypořádat (Van der Sluis et al., 2013). Růstové ploténky kostí a chrupavky nejsou v dospívání tak odolné, jako u dospělých jedinců. Zaostávat může dočasně i mineralizace kostí a s tím souvisí náchylnost ke zlomeninám (Costa-e-Silva et al., 2017). Z tohoto vyplývají rizikové faktory zranění způsobené maturací (Towlson et al., 2021).

Jelikož jedinec roste ve vyšším tempu, než je pro něj do růstového spurtu obvyklé, může se objevovat tzv. adolescentní neobratnost. Jedná se o dočasné narušení motorické koordinace, zvýrazněné zejména u dříve dospívajících jedinců (Lloyd et al., 2014; Towlson et al., 2021). Tuto neobratnost je možné pozorovat již asi půl roku před PHV (Lloyd et al., 2014). Měkké tkáně se nestačily adaptovat na růst trupu a dolních končetin, a to způsobuje změněnou biomechaniku pohybu (Towlson et al., 2021; Williams et al., 2021). Pasivně se prodlužující měkké tkáně se také v reakci na růst kostí stávají tužšími, méně flexibilními, a je třeba je protahovat (Micheli & Klein, 1991). Takové změny způsobují horší nervosvalovou kontrolu (Williams et al., 2021). Zhoršená je i schopnost svalové kokontrakce. Tyto faktory mohou ovlivnit výkon i případné zranění. V rámci prevence v období progresu růstu by ideálně měla být snížena mechanická zátěž, která vyžaduje rychlé změny směru a rychlosti. Naopak by cvičení mělo obsahovat rozmanité

pohybové vzorce, aby se snížila mechanická zátěž a podpořila pohybová obratnost (Towlson et al., 2021).

2.2.2.2 Rovnováha jako rizikový faktor

V době nástupu puberty (8–14 let) ještě nejsou plně vyvinuty některé specifické senzomotorické mechanismy, například schopnost neurokognitivního zpracování nebo koordinace posturální kontroly, případně tyto schopnosti procházejí fázemi regrese. Nejpomaleji maturojícím smyslovým systémem podílejícím se na posturální kontrole je vestibulární systém (Quatman-Yates et al., 2012).

Dospívající děti (s průměrným věkem 10,7 let) vykazují při jednoduchých balančních situacích stejnou posturální kontrolu jako dospělý. Nicméně při složitějších úkolech je jejich chování podobné s mladšími dětmi, tedy provádí pohyby s větší amplitudou a rychlostí. V dospělosti je posturální kontrola již plynulejší. Děti také oproti dospělým vykazují menší pravidelnost v rámci dynamiky chůze a méně strukturované pohybové vzorce během provádění složitějších posturálních úkolů. To znamená, že trajektorie centra tlaku (CoP) je u dětí více náhodná než u dospělých (Quatman-Yates et al., 2012).

Ludwig, Kelm, Hammes, Schmitt a Fröhlich (2020) zjistili významné změny při testování statické rovnováhy u jedinců ve věku 6,7–17,6 let. Kolísání CoP se zmenšovalo s rostoucím věkem, a to jak s otevřenýma, tak se zavřenýma očima probanda. Od 9 let věku již u dívek nebyly zaznamenány rozdíly oproti starším.

2.2.2.3 Změny v kolenním kloubu jako rizikový faktor

Na rozdíl od chlapců, dívky po nástupu do puberty vykazují větší kloubní laxicitu, což také může ovlivnit výskyt zranění, jeho typ a závažnost. Před pubertou není rozdíl mezi kloubní laxicitou u dívek a chlapců, v pubertálním a postpubertálním věku jsou více hypermobilní dívky. Což také koreluje s faktem, že výskyt poranění ligamentum cruciatum anterior (LCA) je u dospívajících sportujících dívek 2–8krát vyšší než u chlapců. Před nástupem do puberty takové rozdíly mezi pohlavími nejsou (Quatman, Ford, Myer, Paterno, & Hewett, 2008). To podporují i závěry studie autorů Quatman-Yates et al. (2012), že dívky mají během puberty a po ní sníženou nervosvalovou kontrolu kolene. U chlapců takové snížení zaznamenáno nebylo, naopak u nich lze spíše hovořit o progresi nervosvalové kontroly kolene (Quatman-Yates et al., 2012).

Autoři Hosseinzadeh a Kiapour (2020) zkoumali prostřednictvím magnetické rezonance, jak se změny anatomické rysy související s poraněním LCA během vývoje kostry u obou pohlaví. Probandy rozdělili dle chronologického věku do 4 skupin, konkrétně předškolní (3–6 let),

prepubertální (7–10 let), mladší adolescentní (11–14 let) a starší adolescentní (15–18 let) a podle pohlaví. Změny, které pozorovali souvisejí s věkem u dívek i chlapců a naznačují, že maturace těchto anatomických rysů je závislá na pohlaví. Dívky mají vyšší riziko zranění LCA v porovnání s chlapci stejného věku. Strmý zadní sklon laterálního tibiálního plató a malá konkavita mediálního tibiálního plató jsou rizikovými faktory poranění (Hosseinzadeh & Kiapour, 2020).

Zmíněný strmý zadní sklon laterálního tibiálního plató u chlapců s věkem významně klesal, zatímco u dívek zůstal s věkem nezměněn. U dívek spolu s věkem sice stoupala hloubka mediálního tibiálního plató (menší hloubka plató zvyšuje riziko zranění), nicméně stále byla signifikantně menší než u chlapců stejného chronologického věku ve všech skupinách starších 6 let. Největší rozdíl byl zaznamenán ve skupině 15–18 let, kdy rozdíl mezi dívkami a chlapci byl $0,08 \pm 0,01$ mm. U chlapců se hloubka plató zvyšovala průměrně o $0,09 \pm 0,01$ mm za rok. U dívek to bylo $0,04 \pm 0,01$ mm za rok (Hosseinzadeh & Kiapour, 2020).

Během růstového spurtu se také zvyšuje otáčivý moment kolenního kloubu jako důsledek nárůstu hmotnosti a výšky jedince, která souvisí s delšími rameny páky femuru a tibie. Nadměrně velký nebo nevyvážený otáčivý účinek v kloubu může měnit biomechaniku a tím přispět ke vzniku zranění (Westbrook, Taylor, Nguyen, Paterno, & Ford, 2020).

U dívek i chlapců dochází během progresu růstu ke zvětšení maximálního abdukčního úhlu kolene, což je považováno za rizikový faktor poranění LCA. K obnově dynamické kontroly kloubu po růstovém spurtu ale dojde pouze u mužského pohlaví. U dívek nadále pokračuje pokles kontroly a nárůst maximálních abdukčních momentů sil i v pozdní adolescenci (Westbrook et al., 2020).

Maximální úhly abdukce a momenty sil v kolenu byly zkoumány na vzorku 138 hráček fotbalu (průměrný věk $13,5 \pm 2,1$ roku). Dívky byly na základě Khamis-Roche metody rozděleny do skupin-prepubertální (<87 %PAH), pubertální (87-94 %PAH) a postpubertální (>94 %PAH). Kamerami byly snímány při neočekávané změně směru na jedné dolní končetině a při seskoku z bedny s následným maximálním vertikálním výskokem. Postpubertální dívky vykazovaly signifikantně větší maximální abdukční úhel a větší abdukční moment síly v kolenním kloubu oproti dvěma mladším skupinám v obou prováděných úlohách. Tato zvětšená abdukce kolene způsobuje zvýšené riziko zranění LCA pro postpubertální skupinu dívek (Westbrook et al., 2020).

Také další autoři Myer, Sugimoto, Thomas, a Hewett (2013) potvrdili větší valgózní úhel kolene a menší neuromuskulární kontrolu dolních končetin v postpubertální dívčí populaci oproti mladším skupinám. Nicméně doplňují, že absence nervosvalové kontroly kolene může vycházet také z nedostatečné síly abduktorů kyčle a stability trupu. Dále prokázali, že věková kategorie dívek 14-18 let má nižší riziko poranění LCA oproti dívkám ve věku 18–20 let a největší riziko zranění mají ženy ve věku nad 20 let. Proto autoři Myer et al. (2013) doporučují v rámci

snížení rizika poranění LCA zahájit neuromuskulární trénink již během rané adolescence, tedy ještě před obdobím změněné biomechaniky pohybu (Myer et al., 2013). Správně vedeným neuromuskulárním tréninkem lze zlepšit schopnost centrální nervové soustavy organizovat účelný a koordinovaný pohyb (Williams et al., 2021). Účinnost neuromuskulárních programů jako prevence poranění LCA byla vyšší u dívek mladších 18 let oproti dívkám starším (Myer et al., 2013).

Studie využívající pro zachycení biomechaniky pohybu 3D kinematografickou analýzu uvádí větší abdukční úhel kolene při tzv. drop vertical jump (DVJ, seskok z bedničky a následný vertikální skok) u mladých sportovkyň během puberty. Dospívající sportovci prokazují sníženou nervosvalovou kontrolu také během tzv. tuck jump assessment (hodnocení technických chyb během plyometrického cvičení po dobu 10 sekund) ve srovnání s dospělými sportovci (Sonesson et al., 2022).

2.2.3 Nejčastější zranění typická pro věkovou kategorii 7-15 let

Zranění z přetížení jsou důsledkem zvýšené intenzity sportovních aktivit u dětí. Jsou problémem o to více, pokud je současně snižena běžná každodenní fyzická aktivita, jako například chůze nebo hraní pohybových her. Tedy pokud se rozevírají nůžky mezi sportovními aktivitami a běžnými denními aktivitami. Snižovaná každodenní aktivita vede k nižší úrovni kondice u jedinců začínajícími se sportem a dalšímu zvýšení rizika z přetížení.

U dětí je nejčastějším místem poranění z přetížení epifyzární chrupavka a většinou jsou postiženy dolní končetiny. Šlachy zůstávají během pubertálního růstu ještě relativně krátké, protože nestíhají rychlému růstu kostí a stále se vyvíjejí. Nejsou tak schopné odolávat takovému zatížení jako plně vyztřelé struktury. Takto krátké šlachy vyvíjejí větší tlak na epifýzu kostí, a proto jsou častými syndromy například Osgood Schlatter, Sinding Larsen Johansson v případě kolene, Severova nemoc na patní kosti (Launay, 2015; Van der Sluis et al., 2013). Morbus Osgood Schlatter se u dívek nejčastěji vyskytuje ve věku 8–12 let, tedy ve věku, kdy je tuberositas tibiae v apofyzární (tedy stále maturační) fázi. V hlezenní oblasti je u dětí nad 10 let typická osteochondrální léze talu, obzvlášť pokud hrají volejbal či házenou s nevhodnou obuví (Launay, 2015).

Jako nejčastěji poraněné oblasti při sportu na vzorku 3698 mladých volejbalistů (ve věku 12–18 let) uvedli autoři de Azevedo Sodr  Silva et al. (2023) kotník, distální části horních končetin a koleno. Z 91,4 % se jednalo o volejbalistky (průměrný věk 15,4 roku).

Obecně se jako nejčastěji akutně poraněná oblast považuje kotník a jako poranění z přetížení koleno a rameno (de Azevedo Sodr  Silva et al., 2023).

V jiné studii, týkající se hráčů netballu ve věku 6–15 let, popisovali autoři Pringle et al. (1998) jako nejvíce zraněné prsty na rukou, zápěstí a hlezno. Hráči rugby z téže studie nejvíce trpěli na zranění hlavy, krku, stehna a kolene (Pringle et al., 1998).

2.2.4 Nejčastější zranění typická pro volejbal

Incidence úrazů při volejbale je 1,51 na 1000 odehraných hodin na hráče. V rámci srovnání hráčů základních a středních škol jsou obecně více zraněni hráči středních škol, údajně vzhledem k vyššímu počtu tréninků a zápasů (de Azevedo Sodr  Silva et al., 2023).

V systematick m průhledu de Azevedo Sodr  Silva et al. (2023) uvedli jako faktory související s vyšší m rou zranění mladých volejbalistů vyšší věk v rámci adolescence, předchozí zranění pohybového aparátu v anamnez , vyšší body mass index, v t ší sportovní účast během sezony a pozice libera. Oproti tomu McGuine et al. (2023) nejčastěji zraněné hráče uvádějí na pozicích sme aře (35,2 %), blokaře (22,6 %), nahrávače (15,3 %) a libera (12,4 %).

Reeser, Gregory, Berg a Comstock (2015) porovnávali zranění u volejbalistek na st edn  škole a na vysok  škole. Vysoko skolsk  hráčky byly zraněny třikrát častěji. Nejčastější zranění v obou skupinách byla distorze kotníku, poranění kolene a ramene. Ve všech třech případech byla vyšší incidence u vysoko skolsk ch hráček. Ve srovnání s dospělými hráčkami byla incidence zranění u těchto mlad ších skupin nižší. Obecně konstatovali, že míra zranění u volejbalistek je poměrně n zk  ve srovnání s jinými sporty provozovanými na středních školách (Reeser et al., 2015).

Studie autorů McGuine et al. (2023) v rámci výzkumu 2072 volejbalistek ve věku $15,6 \pm 1,1$ roku zkoumali mimo jiné nejčastější lokalizace jejich zranění. Celkem bylo zaznamenáno 549 zranění. Nejvíce zraněnou oblastí byl ve 23,5 % kotník, dále koleno (14,4 %), ruka nebo prsty (12,6 %) a rameno (12,4 %). V rámci incidence zranění dolní končetiny se jednalo také o poranění holeně (9,7 %), stehna (4 %), kyčle (3,3 %), nohy (3,1 %). Co se t e typy poranění, v razn  převládaly natažení svalů nebo šlach (40,9 %) a poranění vazů (38,4 %) (McGuine et al., 2023). U dřívě dospívajících jsou také popisovány častější tendinopatie a opakovan  zranění (Costa-e-Silva et al., 2017).

2.2.5 Hodnocení rizikových faktorů

Hodnotící testy posuzující rovnováhu, svalovou sílu, pružnost vazů, propiocepci, rozsah pohybu a další atributy mohou pomoci identifikovat adolescenty, kteří jsou ve vyšším riziku zranění (Paszkevicz, McCarty, & Van Lunen, 2013). V následujícím textu budou popsány klinick  testy hodnotící riziko zranění, které byly využity v diplomov  práci. Jsou to Landing Error Scoring

System (LESS), Beighton skóre hypermobility, statestezie, somatognozie, hodnocení reakčního času a hodnocení dynamické rovnováhy na jedné dolní končetině.

2.2.5.1 *Landing Error Scoring System*

LESS hodnotí potenciálně rizikové pohybové vzorce při doskoku. Celkové skóre se používá k identifikaci jedinců s rizikem bezkontaktního zranění, především byl však tento systém vyvinut na poranění LCA (Padua et al., 2009). Proband provede horizontální skok obounož z 30cm bedny do vzdálenosti 50 % své tělesné výšky a ihned po dopadu provede maximální vertikální skok (Obrázek 2). Tento pohybový úkol je nahrán dvěma kamerami, jedna je umístěná před probandem (snímá frontální rovinu) a druhá ze strany probanda (snímá sagitální rovinu). Následně je ze záznamu hodnocen první dopad z bedny na základě skórovací tabulky a spočítáno, kolik „chyb“ neboli rizikových pohybových vzorců proband udělal (Tabulka 1). Maximální možné skóre je 17 chyb a minimální 0 chyb. Na základě studie Padua et al. (2015) je 5 a více chyb spojeno s vyšším rizikem poranění LCA, a to téměř 11krát. Senzitivita testu v této studii je 86 % a specificita 64 %. Hodnoceny jsou vždy tři platné pokusy a následně je bráno průměrné skóre. Aby byl pokus platný, musí se proband odrazit z bedny obounož, dopadnout do vzdálenosti 50 % své tělesné výšky a provést pohyb plynule (Padua et al., 2009). LESS je reliabilním a validním testem (Hanzlíková & Hébert-Losier, 2020).

Obrázek 2

Provedení skoku v rámci LESS (Padua et al., 2009)



Tabulka 1

LESS skóre (upraveno dle Padua et al., 2015)

Položka	Pohled	Definice chyby	Skóre
1. Flexe kolene: IC	Laterální	Flexe kolene <30°	0 nebo 1
2. Flexe kyčle: IC	Laterální	Stehno je v rovině s trupem (kyčelní kloub není flektován)	0 nebo 1
3. Flexe trupu: IC	Laterální	Trup je vertikálně nebo v extenzi	0 nebo 1
4. Plantární flexe v hleznu: IC	Laterální	Dopad na patu nebo na celou plosku	0 nebo 1
5. Valgozita kolene: IC	Přední	Patela je mediálně vzhledem k chodidlu	0 nebo 1
6. Lateroflexe trupu: IC	Přední	Trup je ukloněn do strany	0 nebo 1
7. Šířka stoje-široký: IC	Přední	Vzdálenost chodidel je větší než vzdálenost akromionů	0 nebo 1
8. Šířka stoje-úzký: IC	Přední	Vzdálenost chodidel je menší než akromionů	0 nebo 1
9. Pozice DK: vnitřní rotace	Přední	DK je ve vnitřní rotaci více než 30° od IC až po maximální flexi kolene	0 nebo 1
10. Pozice DK: zevní rotace	Přední	DK je v zevní rotaci více než 30° od IC až po maximální flexi kolene	0 nebo 1
11. Symetrie dopadu nohou: IC	Přední	Jedna noha dopadne před druhou, nebo jedna noha dopadne na patu a druhá na špičku	0 nebo 1
12. Změna velikosti flexe v koleni	Laterální	Změna velikosti flexe v koleni mezi IC a maximální flexí v koleni <45°	0 nebo 1
13. Změna velikosti flexe v kyčli	Laterální	Velikost flexe v kyčelním kloubu se od IC po maximální flexi v koleni nezvětšila	0 nebo 1
14. Změna velikosti flexe trupu	Laterální	Velikost flexe trupu se od IC po maximální flexi v koleni nezvětšila	0 nebo 1
15. Změna velikosti valgozity v koleni	Přední	Při maximálním valgózním postavení kolene je patela mediálně od chodidla	0 nebo 1
16. Tvrdost dopadu*	Laterální	Měkký, průměrný, tvrdý	0 nebo 1 nebo 2
17. Celkový dojem**	Přední, laterální	Excelentní, průměrný, špatný	0 nebo 1 nebo 2

Poznámka: IC-iniciální kontakt, DK-dolní končetina

skóre 0=chyba není přítomna, 1=chyba je přítomna

* u položky 16: skóre 0=měkký dopad, 1=průměrný dopad, 2=tvrdý dopad

**u položky 17: skóre 0=excelentní, 1=průměrný, 2=špatný

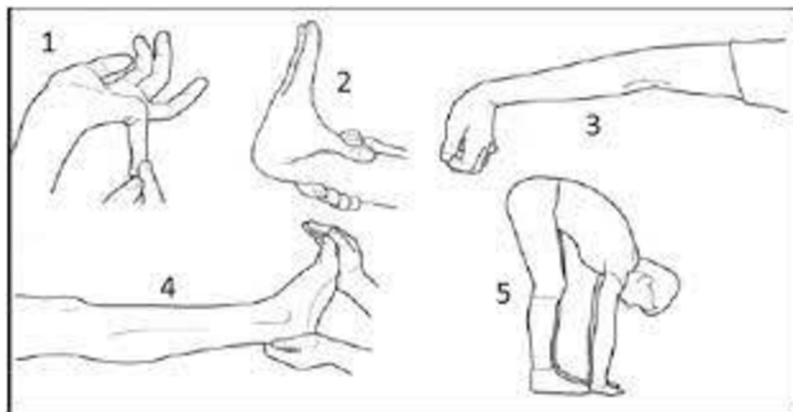
2.2.5.2 Hodnocení hypermobility

Generalizovaná hypermobilita je rizikovým faktorem různých poranění, jako například ruptury LCA a poranění kolene obecně, poranění ramene nebo distorze kotníku (Blajwajs, Williams, Timmons, & Sproule, 2023; Liaghat et al., 2021; Sundemo et al., 2019).

Kloubní hypermobilita může vznikat jako následek laxicity vazů. Může se vyskytovat izolovaně nebo generalizovaně (Tobias, Deere, Palmer, Clark, & Clinch, 2013). Nejčastěji se generalizovaná hypermobilita hodnotí podle Beighton skóre, které má pět položek (Obrázek 3). Jedná se o hyperextenzi loketních kloubů 10° a více, hyperextenzi kolenních kloubů 10° a více, pasivní extenzi metacarpophalangového kloubu malíku nad 90°, pasivní opozici palce. Všechny výše zmíněné jsou hodnoceny oboustranně, tedy maximum za každou položku jsou dva body. Poslední položka je předklon trupu s položenými dlaněmi na zem, kde je pozitivitě hodnoceno jedním bodem (Obrázek 3) (Tobias et al., 2013).

Obrázek 3

Jednotlivé testy Beighton skóre (Clinch et al., 2011)



Studie Singh et al. (2017) udává jako hranici generalizované hypermobility u dívek ve věku 3–7 let skóre 6 a více, ve věku 8–39 let 5 a více. Beighton skóre je při použití goniometru validní pro měření generalizované hypermobility u dětí ve věku 6–12 let (Smits-Engelsman, Klerks, & Kirby, 2011) a také vysoce reliabilní (Blajwajs et al., 2023; Bockhorn et al., 2021).

2.2.5.3 Statestezie

Statestezie (polocit) vypovídá o kvalitě rozlišovací schopnosti polohy a pohybu, a to pomocí kožní aferentace a propriocepce. Vyšetření statestezie se provádí pasivním navedením vyšetřovaného segmentu do určité polohy. Proband se snaží polohu zapamatovat. Terapeut předchází polohu změni a následně se proband snaží uvést vyšetřovaný segment zpět na místo původní polohy (ipsilaterální testování). Celý test provádí proband se zavřenýma očima (Kolář, 2012; Winter, Huang, Sertic, & Konczak, 2022). Hodnotí se probandova schopnost repozice segmentu do dříve nastavené pozice. Vyšetřovaným segmentem bývá horní nebo dolní končetina, přičemž lze vyšetřovat buď pouze jeden kloub (například kolenní) nebo končetinu jako celek (Baert et al., 2018).

Ipsilaterální statestezie spoléhá na pracovní paměť, jelikož předpokladem pro správné provedení je zapamatování si původní pozice. Při testování kontralaterální statestezie terapeut pasivně nastaví jednu končetinu do výchozí polohy a proband se snaží stejně nastavit svoji druhou končetinu. Provádění kontralaterálních testů již nespolečá na paměť, jelikož obě pozice kloubů vnímá pacient v daný okamžik současně, nicméně je zapotřebí intaktní nervové zpracování mezi dvěma mozkovými hemisférami (Winter et al., 2022).

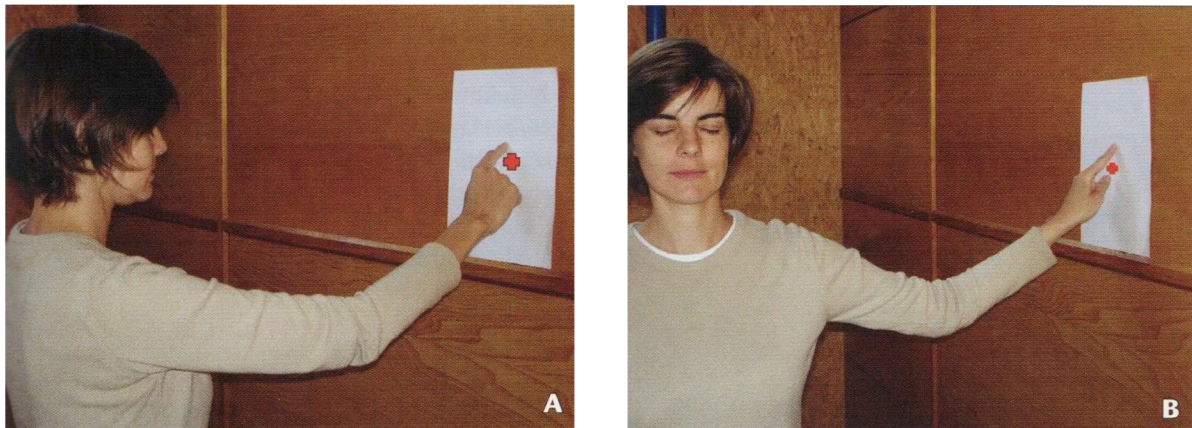
V rámci hodnocení statestezie lze využít i přístrojovou techniku, například 3D analýzu pohybu či izokinetický dynamometr, nicméně v klinických podmínkách je jejich užití nepraktické (Baert et al., 2018).

Autoři Strong, Arumugam, Tengman, Röijezon, a Häger (2021) popisují hodnocení statestezie jako validní, v systematickém přehledu a meta-analýze hodnotili vyšetření statestezie na koleni.

Jedním z konkrétních testů statestezie je dle Koláře pasivní nastavení ruky probanda terapeutem do určité pozice s prstem na papíru. Poté proband připaží a znovu zkusí aktivně zaujmout rukou stejnou pozici. Vše se provádí se zavřenýma očima buď v poloze čelem nebo bokem k testovací ploše. Na milimetrovém papíru se hodnotí rozdíl mezi výchozí a konečnou polohou (Obrázek 4) (Kolář, 2012).

Obrázek 4

Vyšetření statestezie (Kolář, 2012)



2.2.5.4 Somatognozie

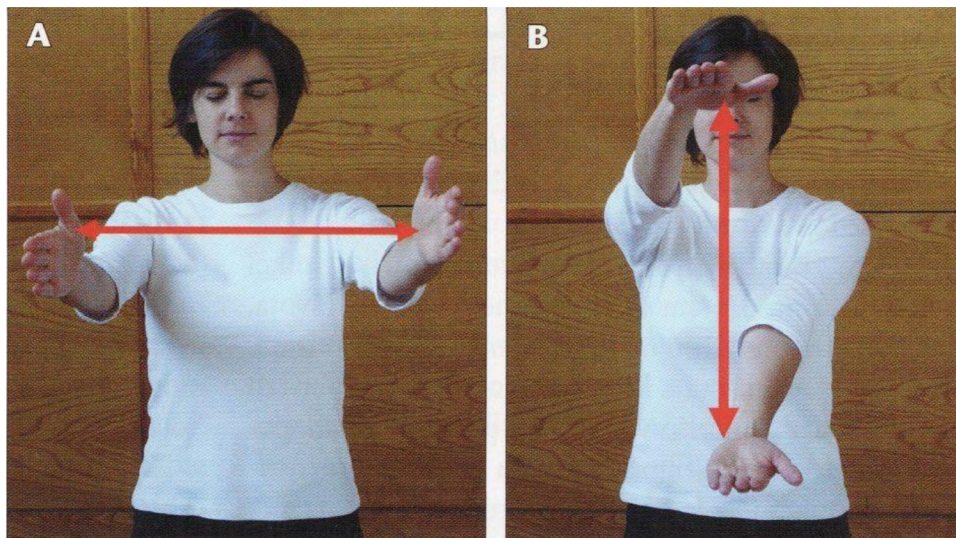
Somatognozie je schopnost člověka identifikovat vlastní tělo. Nedostatečná znalost vlastního tělesného schématu má za důsledek nedostatečné kompenzační možnosti zejména při patologickém stavu. Jedinci se špatnou schopností somatognozie a také stereognozie (schopnost prostorového vnímání ve vztahu k vlastnímu tělesnému schématu) se špatně adaptují na případný ortopedický výkon. Proto má diagnostika těchto funkcí význam (Kolář, 2012).

Testovat se dá různými způsoby, například pokusem vyšetřovaného se zavřenýma očima odhadnout hloubku svého hrudníku, nebo šířku ramen (Kolář, 2012).

Dle Koláře proband při vyšetření somatognozie odhaduje rozpětím svých paží šířku své pánve, a to jak v horizontální, tak i vertikální rovině (Obrázek 5) (Kolář, 2012).

Obrázek 5

Vyšetření somatognozie (Kolář, 2012)



2.2.5.5 Hodnocení reakčního času

Hráči, kteří nejsou schopni včas a přesně zpracovávat podněty z okolního prostředí jsou ohroženi muskuloskeletálním zraněním. Nedokážou dostatečně rychle naplánovat optimální motorické sekvence tak, aby zranění předešli. Hráč by se také měl být schopen soustředit na v danou dobu relevantní úkol a vhodně na něj zareagovat. Proto je výhodné u sportovců testovat kognitivní schopnosti, reakční čas, případně se na tyto faktory zaměřit v tréninku (Avedesian, Forbes, Covassin, & Dufek, 2022).

Nejběžnější metodou pro testování zrakové pozornosti, tedy reakčního času na základě vizuálního podnětu, je Flanker test. Flanker test pomáhá změřit schopnost jedince inhibovat automatické reakce za účelem dosažení cíle (Amin, Tat, & Seitz, 2023). Flanker test může mít různé podoby a varianty, ale princip je vždy podobný. Testovaný jedinec se dívá na fixační bod, následně podle konkrétního zadání po předem dané vizuální změně na obrazovce stiskne určité tlačítko. Měří se rychlost motorické odezvy od promítnutí vizuální změny, tedy reakční čas a počet chyb (Baars & Gage, 2010).

Rychlost a přesnost identifikace cílového podnětu (písmene) je závislá na podobnosti tohoto cílového podnětu a rušivých prvků (nejčastěji písmen). Bylo prokázáno, že zpracování cílového podnětu je okolními rušivými podněty zhoršeno a zpomaleno. Dalším faktorem ovlivňujícím rychlost reakce je vzdálenost rušivých písmen od cílového podnětu. Reakční doba a vzdálenost rušivých elementů mají nelineární vztah. Při malé vzdálenosti od cílového podnětu rušivé prvky zhoršují reakční dobu více než při větší vzdálenosti. Od určitého zorného úhlu rušivého prvku od cíle ale již jeho další vzdálenost reakční dobu nemění. Třetím hlavním

faktorem délky reakční doby je, zda mají rušivá písmena stejnou naučenou odezvu, tedy jsou kompatibilní s odpovědí cílového písmene (poté je zaznamenán kongruentní reakční čas). Nebo zda vyžadují odezvu opačnou a jsou nekompatibilní (zaznamenán jako nekongruentní reakční čas). V druhém případě je opět reakční čas prodloužen (Eriksen & Eriksen, 1974). Dále se zjišťuje Flanker effect, který je primárním měřítkem inhibiční kontroly a je výsledkem rozdílu kongruentních a nekongruentních reakčních časů (Amin et al., 2023).

Pokud jsou kolem cílového podnětu rušivé faktory, je nutný selekční proces, aby bylo určeno, že cílový podnět vyvolá reakci a okolní podněty budou inhibovány a reakce na ně se nevyvolá. Malé rozdíly vyžadují delší dobu rozhodování, a tedy delší reakční čas (Eriksen & Eriksen, 1974).

Flanker test je validní (Amin et al., 2023) a vysoce reliabilní test (Oeri, Buttelmann, Voelke, & Roebbers, 2019).

2.2.5.6 Měření dynamické rovnováhy

Existuje pozitivní souvislost mezi stavem maturace a dynamickou rovnováhou (Nebigh et al., 2022) a také silou dolních končetin (Wilczyński et al., 2022). Existuje mnoho způsobů, jak měřit dynamickou rovnováhu. Známými a zároveň reliabilními testy pro měření dynamické rovnováhy jsou Star Excursion Balance Test a jednodušší Y-balance test. Oba testy lze využít k identifikaci deficitů rovnováhy a predikci poranění dolních končetin (Maricot et al., 2024; Wilczyński et al., 2022). Další testy využívají silové plošiny a testují se pomocí nich například dopady na jednu dolní končetinu (Myer, Ford, McLean, & Hewett, 2006). Dynamickou rovnováhu lze testovat na jedné dolní končetině na nestabilní silové plošině nebo na stabilní plošině a provést dřep. V případě testování do dřepu jsou kladeny vyšší nároky na kontrolu pohybu směrem do valgozity kolene. Testování dynamické rovnováhy do dřepu tak může odhalit větší deficity v posturální kontrole (Culvenor et al., 2016).

Culvenor et al. (2016) použili k měření silovou plošinu (Wii Balance Board). Účastníci výzkumu měli za úkol provádět v rychlosti zvuku metronomu dřep na jedné dolní končetině do míry flexe v kolenu 60° a poté se zpět vrátit do výchozí vzpřímené pozice. Celkem bylo provedeno pět dřepů na každé dolní končetině. Test-retest reliabilita tohoto testu byla vyhodnocena jako dobrá (v 95 % intervalu spolehlivosti 0,72–0,86) (Culvenor et al., 2016).

3 CÍLE

3.1 Hlavní cíl

Hlavním cílem diplomové práce je posoudit vliv maturace na riziko zranění dolních končetin u volejbalistek ve věku 7–15 let.

3.2 Dílčí cíle

- 1) Dílčím cílem práce je zjistit souvislost mezi Landing Error Scoring System (LESS) skórem a biologickým věkem a posoudit rozdíl v LESS skóre mezi skupinami dívek v rozdílném biologickém věku.
- 2) Dílčím cílem práce zjistit souvislost mezi Beighton skóre a biologickým věkem a posoudit rozdíl v Brighton skóre mezi skupinami dívek v rozdílném biologickém věku.
- 3) Dílčím cílem práce je zjistit souvislost mezi statestezií a biologickým věkem a posoudit rozdíl v statestezii mezi skupinami dívek v rozdílném biologickém věku.
- 4) Dílčím cílem práce je zjistit souvislost mezi somatognozií a biologickým věkem a posoudit rozdíl v somatognozii mezi skupinami dívek v rozdílném biologickém věku.
- 5) Dílčím cílem práce je zjistit souvislost mezi reakčním časem a biologickým věkem a posoudit rozdíl v reakčním čase mezi skupinami dívek v rozdílném biologickém věku.
- 6) Dílčím cílem práce je zjistit souvislost mezi dynamickou rovnováhou a biologickým věkem a posoudit rozdíl v dynamické rovnováze mezi skupinami dívek v rozdílném biologickém věku.

3.3 Výzkumné hypotézy

- H₀₁ LESS skóre signifikantně nesouvisí s biologickým věkem a neliší se mezi skupinami volejbalistek v odlišném biologickém věku.
- H₀₂ Beighton skóre signifikantně nesouvisí s biologickým věkem a neliší se mezi skupinami volejbalistek v odlišném biologickém věku.
- H₀₃ Schopnost statestezie signifikantně nesouvisí s biologickým věkem a neliší se mezi skupinami volejbalistek v odlišném biologickém věku.

H₀₄ Schopnost somatognozie významně nespojuje s biologickým věkem a neliší se mezi skupinami volejbalistek v odlišném biologickém věku.

H₀₅ Reakční čas významně nespojuje s biologickým věkem a neliší se mezi skupinami volejbalistek v odlišném biologickém věku.

H₀₆ Dynamická rovnováha významně nespojuje s biologickým věkem a neliší se mezi skupinami volejbalistek v odlišném biologickém věku.

Hypotéza bude vyvrácena, pokud jakýkoliv z ukazatelů bude statisticky významný.

4 METODIKA

4.1 Výzkumný soubor

Výzkumu se zúčastnilo 56 dívek. Inkluzivní kritérium byl věk 7–15 let, volejbal na závodní úrovni, dívky. Exkluzivní kritéria výzkumného souboru byla: bolest, která brání účasti ve sportovních aktivitách, zranění dolních končetin, operace či vážná zranění v posledních třech měsících před testováním. Z důvodu chybějících údajů pro výpočet biologického věku (konkrétně výšky biologických rodičů) bylo pro statistické zpracování využito hodnocení 52 účastnic výzkumu.

Metodika této diplomové práce byla schválena Etickou komisí FTK UP (Příloha 1). Všechny testované dívky odevzdaly Informovaný souhlas (Příloha 2), podepsaný zákonným zástupcem a měly možnost kdykoli z výzkumu odstoupit.

4.2 Metody sběru dat

Sběr dat byl proveden v Aplikačním centru BALUO na Fakultě tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci pod vedením výzkumníků, trenérů a fyzioterapeutů. Měření probíhalo ve dvou dnech, vždy v odpoledních hodinách. Zahrnovalo: antropometrické měření (tělesná výška ve stoje, tělesné složení), Landing Error Scoring System (LESS), testování hypermobility dle Beighton Scale, vyšetření statestézie a somatognozie, testování reakčního času a testování dynamické rovnováhy na jedné dolní končetině. Dále byly účastnice žádány o informace o výšce biologické matky a otce.

Před zahájením měření bylo každé účastnici výzkumu přiděleno identifikační číslo (ID). Každý test byl měřen na jiném stanovišti. Dívky chodily do místnosti po třech až pěti. Každá dívka prošla postupně všechny stanoviště v randomizovaném pořadí. Během celého testování byla každá účastnice výzkumu důsledně verbálně povzbuzována.

Testovací jednotce vždy předcházelo cca 10minutové rozehřátí, které zahrnovalo dynamický strečink, základní pohybové dovednosti, vertikální submaximální skoky na obou dolních končetinách, poté i na jedné. Dále dívky prováděly horizontální skoky s narůstající intenzitou, a nakonec každá absolvovala tři sprinty taktéž s narůstající intenzitou (60 %, 90 % a 100 % maximálního úsilí).

Výzkum byl součástí většího projektu, který zahrnoval dvě měření tohoto typu a mezi nimi osmi týdenní intervenci v rámci pravidelných tréninků. Mimo výše uvedené měření byly použity testy hodnotící lokomoční rychlost a explozivní sílu, konkrétně sprint, sub-maximální vertikální

výskok na jedné a na obou dolních končetinách, skok daleký z místa odrazem jednož a obouž, trojskok z místa odrazem jednož a obouž, výskok po seskoku z vyvýšeného místa. Tyto testy však nejsou předmětem této diplomové práce.

4.2.1 Antropometrické měření

4.2.1.1 Tělesná výška ve stoji

Tělesná výška probanda ve stoje i v sedě byla měřena pomocí přenosného stadiometru (Seca 213, Seca, Hamburg, Německo). Měření probíhalo bez bot a ponožek. Testovaná dívka se vždy postavila na stadiometr tak, aby paty byly v dotyku s jeho zadní plochou. Dolní končetiny byly v dotyku u sebe, ruce podél těla. Pánev, záda a týl hlavy byly drženy v dotyku s tyčí stadiometru, přičemž vyšetřující hlídal, aby tyč stadiometru zůstala ve vertikální rovině. Hlava byla držena v neutrální pozici. Testovaná dívka provedla nádech, a s výdechem vyšetřující posunul horní část stadiometru na nejvyšší část hlavy. Hodnota výšky byla zaznamenána se zaokrouhlením na 0,1 cm v cm a dále se zaokrouhlením ve stopách. Hodnota ve stopách byla potřebná pro následné měření tělesného složení.

4.2.1.2 Tělesné složení

Tělesná hmotnost a procento tělesného tuku byly měřeny přístrojem Tanita SC-240 (Tanita Corporation, Tokio, Japonsko), který funguje na principu bioelektrické impedanční analýzy. Měření bylo provedeno bez bot a ponožek. Jelikož se jedná o sportující dívky, byla na přístroji vybrána kategorie „Female athletic“. Dále byl vždy do přístroje zadán věk testované dívky a její výška zaznamenaná ve stopách (změřena na stadiometru, popsána výše). Přístrojem byla změřena tělesná hmotnost, která byla zaznamenaná v librách a následně převedena na kilogramy, a tělesný tuk, vyjádřený v procentech z celkové tělesné hmotnosti.

V souvislosti s etickými zásadami nebyly údaje o hmotnosti a dalším složení těla říkány nahlas. Také byl kladen důraz na to, aby ostatní hráčky přítomny testování údaje navzájem neviděly.

4.2.2 Předpokládaná výška v dospělosti

Předpokládaná výška v dospělosti (PAH) byla vypočítána podle Khamis-Roche metody popsané v kapitole 2.1.1.3.1. K výpočtu byla použita aktuální tělesná hmotnost, aktuální výška ve stoji a průměrná výška obou biologických rodičů.

4.2.3 Maturační status

Dívky byly rozděleny do 4 maturačních skupin podle aktuálně dosaženého procenta z PAH (%PAH). Jako „prepubertal“ (PRE) byly hodnoceny dívky s <85 %PAH, jako „early-pubertal“ (EPUB) byly hodnoceny dívky s ≥ 85 % a zároveň <90 %PAH. Dívky s ≥ 90 % a zároveň <95 % byly přiřazeny do skupiny „mid-pubertal“ (MPUB), a dívky s aktuální výškou ≥ 95 %PAH byly označeny jako „late-pubertal“ (LPUB).

4.2.4 Landing Error Scoring System

4.2.4.1 Videozáznam

Pro zaznamenání skoků v rámci LESS byly použity dvě videokamery (SONY HXRMC2000, SONY, Japonsko; SONY HXR-NX5E, SONY, Japonsko). Každá kamera byla umístěna 3 metry od doskokové zóny ve výšce 1,2 metru od země. Jedna kamera snímala dopad hráčky v sagitální rovině, druhá v rovině frontální. Frekvence sběru dat kamer byla 50 Hz.

4.2.4.2 Provedení testu

K provedení testu byla potřeba 30 cm vysoká bednička, z níž proband seskakoval. Do vzdálenosti odpovídající polovině výšky probanda byla umístěna páska na zem, na níž byl doskok směřován. Proband se po stoupnutí na bedničku srovnal tak, aby špičky bot byly zarovnané s okrajem bedničky. Poté se oběma dolními končetinami od bedničky odrazil a skočil tak, aby dopadl na pásku na zemi. Bezprostředně po dopadu se opět odrazil a provedl maximální vertikální skok. Proband se snažil o plynulý pohyb. Každý proband provedl nejprve jeden cvičný skok. Poté byly zapnuty kamery a proband provedl tři platné pokusy, prokládané vždy 30sekundovou pauzou.

4.2.4.3 Vyhodnocení Landing Error Scoring System skóre

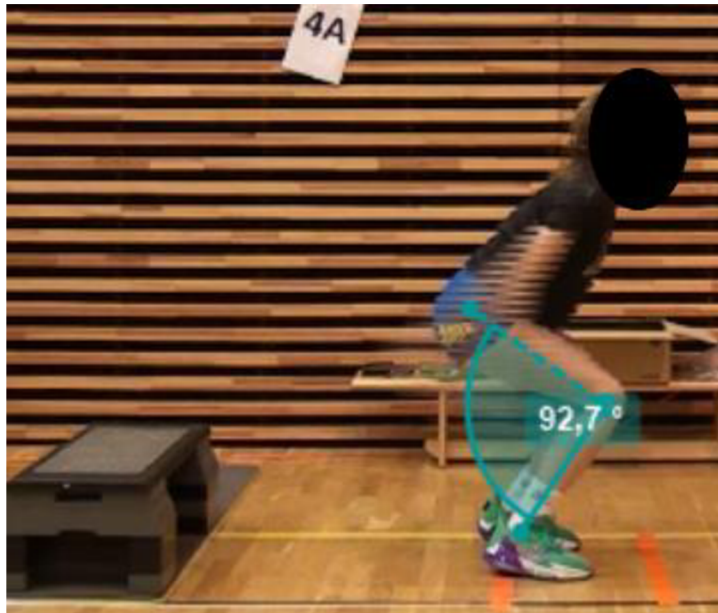
Při vyhodnocování se postupovalo podle jednotlivých položek protokolu LESS dle Padua et al. (2015), popsaného v kapitole 2.2.5.1. Probandi s hodnocením ≥ 5 bodů byli hodnoceni jako vysoce riziková (Padua et al., 2015). Pro hodnocení úhlů byla využita 2D kinematická analýza v programu Kinovea (verze 0.9.5). V programu Kinovea byla použita funkce „Angle“ pro měření úhlů v kloubech (Obrázek 6).

Vyhodnocení doskoků bylo rozděleno mezi tři vyšetřující. 10 účastníků bylo vyhodnoceno všemi třemi vyšetřujícími pro zjištění shody ve skórování. Shoda skórování (intraclass correlation coefficient, ICC) byla 0,86 [95% konfidenční intervaly 0,68 až 0,95], což ukazuje na dobrou

inter-rater reliabilitu. Ke statistickému hodnocení bylo bráno vždy průměrné skóre ze všech tří pokusů u každé účastnice.

Obrázek 6

Hodnocení úhlu v kolenním kloubu během doskoku v programu Kinovea (vlastní zdroj)



4.2.5 Hypermobilita

Pro měření hypermobility byla v rámci výzkumu vybrána Beighton scale, která je popsána v kapitole 2.2.5.2. Proband při vyšetření seděl na židli. Měl se uvolnit a pokud by cítil bolest, měl o ní informovat vyšetřujícího. Nejprve byla měřena pasivní hyperextenze malíku přes 90°. Pokud byl pohyb větší než 90°, zapsal vyšetřující do protokolu k příslušné kolonce „1“. Pokud byl rozsah pohybu menší, zapsal „0“. Další položkou byla pasivní apozice palce k palmární straně předloktí. „1“ zapsal vyšetřující, pokud se palec dotkl předloktí. Pokud byla pasivní hyperextenze loketního kloubu větší než 10°, byla opět zhodnocena bodem do Beighton scale. Stejně tak i pasivní hyperextenze kolenního kloubu nad 10°. Takto byla vždy změřena u každé položky pravá strana, poté levá a poté následovala vždy další položka. Poslední měřená položka byla ve stoji. Proband měl za úkol se s nohama na šířku pánve a extendovanými koleny dotknout země v maximálním možném rozsahu. Pokud byly na zem přiloženy celé dlaně, bylo hodnoceno bodem „1“. Minimum bodů bylo 0 a maximum 9. Dívka s Beighton skóre ≥ 5 bodů byla hodnocena jako hypermobilní (Singh et al., 2017).

Celé vyšetření bylo zapsáno do předem připraveného protokolu vždy pro pravou a levou polovinu těla u prvních čtyř položek, u poslední položky byla zapsána pouze jedna hodnota. Ke statistické analýze bylo použito celkové skóre.

4.2.6 Statestezie

Statestezie v rámci výzkumu byla měřena zkouškou dle Kolář (2012), popsanou v kapitole 2.2.5.3. Výchozí pozice pro vyšetření byla ve vzpřímeném stoji, bokem ke stěně a se zavřenými očima. Pořadí pravé a levé horní končetiny bylo randomizováno. Pokud měl proband sudé ID, byla vyšetřena statestezie v pořadí na pravé-levé horní končetině. Pokud měl proband liché ID, bylo pořadí vyšetření na levé-pravé horní končetině. Před zahájením vyšetření byli probandi instruováni a zkouška jim byla názorně předvedena. Na stěně byl ve výšce 120 cm od země přilepen milimetrový papír velikosti A4 s označením tečky uprostřed.

Testovaná dívka si stoupla pravým, případně levým bohem ke stěně tak, aby byly boty podélně zarovnané s čarou vytvořenou na zemi ve vzdálenosti 30 cm od stěny. Dívka zavřela oči a vyšetřující jí pravou, případně levou horní končetinu nastavil tak, aby se konec ukazováku dotýkal vyznačené tečky na milimetrovém papíru. V takto nastavené pozici vyšetřující držel horní končetinu probanda po dobu 3 sekund. Proband se snažil si pozici zapamatovat. Poté byla horní končetina pasivně vrácena zpět k tělu. Po 3 sekundách měl proband nastavit končetinu co nejpřesněji do původní pozice a zůstat v ní. Vyšetřující poté změřil vzdálenost středu nehtu ukazováku od tečky na milimetrovém papíře a zapsal s přesností na 0,1 cm. Poté bylo stejné měření provedeno na druhé straně. Rozdíl v cm zvlášť pro pravou a levou horní končetinu byly statisticky zpracovány.

4.2.7 Somatognozie

Každému probandovi bylo prvně následující měření somatognozie přesně slovně vysvětleno a názorně ukázáno. Testovaná měla za úkol odhadnout šířku své pánve ve vertikální rovině. Měření bylo provedeno při zavřených očích, s nohama u sebe, bez bot. Nejprve měla testovaná dívka flektovat lokty do 90°, aby bylo vyloučeno, že šířku pánve odečte z momentálního postavení horních končetin při těle. Následně převedla horní končetiny do vertikální roviny, již s extendovanými lokty, v odhadované šířce pánve. Podmínkou bylo, aby nahoře byla vždy levá ruka. Jakmile proband řekl, že již má ruce v poloze odhadované šířky pánve, změřil vyšetřující krejčovským metrem vzdálenost prostředníků obou rukou v oblasti nehtu. Změřená hodnota byla zaznamenána se zaokrouhlením na 0,1 cm.

Šířka pánve byla měřena pelvimetrem (Model 01293, Lafayette Instrument, Lafayette, IN, USA) v biiliacální úrovni. Proband byl měřen bez bot. Dle instrukcí si testovaná dívka stoupla s nohama u sebe a s horními končetinami zkříženými přes hrudník. Vyšetřující si nejprve palpačně ozřejmil nejlaterálnější místa na lopkách pánevních kostí. Poté byl proband požádán, aby na toto místo přiložil své prsty. Následně vyšetřující přiložil k těmto dvěma bodům pelvimetr, skloněný v úhlu 45° od horizontální roviny a stranově vyrovnaný. Hodnota odečtená z pelvimetru byla zaznamenána se zaokrouhlením na 0,1 cm.

Následně byla hodnota odhadované vzdálenosti porovnána se šířkou biiliacální vzdálenosti, a tím zjištěna schopnost somatognozie. Ke statistickému hodnocení byla schopnost somatognozie brána jako hodnota rozdílu v centimetrech mezi odhadované vzdálenosti testovanou dívkou a biiliacální šířky.

4.2.8 Reakční čas

Účastnice prováděly v rámci výzkumu Flanker test k vyhodnocení selektivní zrakové pozornosti a inhibice odezvy. Testování probíhalo v laboratorních podmínkách. V místnosti byl vždy přítomen pouze výzkumník a jeden proband. Proband měl pro lepší koncentraci nasazena sluchátka. Výzkumník byl při samotném testu mimo zrakové pole probanda.

Výchozí pozicí pro měření byl sed na židli u stolu, přičemž výška židle byla upravena tak, aby byl stůl v úrovni loktů účastníka a pokud byla potřeba, byly nohy podloženy bedničkou pro lepší stabilitu. Obrazovka počítače byla upravována tak, aby první řádek na monitoru odpovídal výšce očí. Každému probandovi byl test nejprve slovně vysvětlen. Následně probíhal cvičný pokus, který trval tak dlouho, dokud proband neměl 10 správných pokusů.

Proband položil svůj levý ukazovák na klávesu „A“, svůj pravý ukazovák na klávesu „L“. Na obrazovce počítače se vždy zobrazilo 5 velkých písmen vedle sebe, například: VVBVV. Pod prostředním písmenem byl po celou dobu testu fixační křížek. Proband měl za úkol reagovat vždy právě na prostřední písmeno označené křížkem (Obrázek 7 a 8). Cílový podnět tvořila čtyři písmena. Pokud bylo prostřední písmeno „X“ nebo „C“, měl proband zmáčknout klávesu „A“, zatímco na písmena „V“ a „B“ bylo potřeba reagovat stisknutím klávesy „L“. Okolní písmena měl účastník ignorovat. Proband po každém stisknutí tlačítka dostal zpětnou vazbu. Pokud zmáčknul správnou klávesu, fixační křížek pod prostředním písmenem se rozsvítil zeleně, pokud nesprávnou klávesu, rozsvítil se červeně. Okolní písmena byla buď kongruentní (např. BBVBB, Obrázek 7), tedy vyžadovala by stejnou odpověď, nebo inkongruentní (např. CCBB, Obrázek 8), tedy vyžadovala by odpověď opačnou.

Obrázek 7

Flanker test-okolní písmena kongruentní s cílovým podnětem (vlastní zdroj)



Obrázek 8

Flanker test-okolní písmena inkongruentní s cílovým podnětem (vlastní zdroj)



Po ukončení testování vyšetřující zapsal do protokolu kongruentní reakční čas (tedy jak dlouho průměrně trvalo účastníkovi zareagovat na cílový podnět s kongruentními okolními písmeny), nekongruentní reakční čas (jak dlouho průměrně trvalo účastníkovi zareagovat na cílový podnět s inkongruentními okolními písmeny) a Flanker efekt (rozdíl průměrné doby nekongruentního reakčního času a kongruentního reakčního času).

4.2.9 Dynamická rovnováha

Měření dynamické rovnováhy v rámci diplomové práce probíhalo s využitím přenosné silové plošiny (Kistler 9260AA6, Kistler Group, Winterthur, Švýcarsko), na níž účastnice prováděly podřep na jedné dolní končetině. Plošina byla podložena protiskluzovou podložkou pro zabránění nežádoucího pohybu.

Testovaná dívka si bosá stoupla na jedné dolní končetině na střed plošiny, horní končetiny měla zkřížené na hrudníku. Za dívkou byla horizontálně umístěná laťka v takové výšce, že při dotyku dívky s laťkou byl kolenní kloub v 60° flexi. Toto bylo ověřeno pomocí goniometru. Takto byla určena hloubka dřepu u každé z účastnic.

Požadovaný pohyb byl ze stoje na jedné dolní končetině jít do dřepu, dokud se hýždě nedotknou laťky a zpět do výchozí pozice. Rychlost pohybu byla řízena metronomem v rytmu 2 sekundy pohyb dolů a 2 sekundy pohyb nahoru, měření probíhalo vždy 21 sekund. Každá

testovaná dívka provedla 5 dřepů na každé dolní končetině. Nestojná dolní končetina byla natažená před tělem nad zemí.

Před samotným měřením byly účastnice poučeny o jeho správném průběhu, pohyb si vyzkoušely. Za neplatný pokus bylo považováno kýchnutí nebo zakašlání v průběhu měření, dotyk nestojné dolní končetiny s plošinou, dosednutí na laťku, povolení horních končetin z hrudníku.

Silová plošina byla USB kabelem propojena s počítačem pro zobrazení a ukládání dat. Frekvence sběru dat byla 200 Hz. V rámci dat se hodnotila rychlost pohybu centra tlaku (CoP) v anteroposteriorním (Y) a mediolaterálním (X) směru a rozsah pohybu CoP v Y a X směru.

4.3 Statistické zpracování dat

Pro určení normality dat byl využit Shapiro-Wilk test. Homogenita rozptylu skupin proměnných byla vypočtena na základě Levenova testu, data byla homogenní. Byly také identifikovány tzv. „outliers“, jelikož ale tyto hodnoty neovlivňovaly významně výsledky, byly v souboru ponechány.

K popisu proměnných byly použity průměr a směrodatná odchylka (SD) u normálně rozložených dat, medián a mezikvartilové rozpětí (IQR) v případě nenormálně rozložených dat. Data procent z předpokládané výšky v dospělosti byla nenormálně rozložena, proto byla ke korelacím s dalšími proměnnými vždy použita Spearmanova korelace (ρ). Korelační koeficient byly interpretovány dle následujících rozmezí: 0,00–0,09 zanedbatelná korelace, 0,10–0,39 slabá korelace, 0,40–0,69 střední korelace, 0,70–0,89 silná korelace, 0,90–1,00 velmi silná korelace (Schober, Boer & Schwarte, 2018).

Na základě počtu probandů byla vypočtena statistická síla, a minimální detekovatelná hodnota korelačního koeficientu byla stanovena na $\rho=0,38$.

Pro porovnání rozdílů mezi jednotlivými maturačními skupinami byla využita jednosměrná analýza rozptylu (OneWay ANOVA) v případě normálně rozložených dat. V případě signifikantního výsledku byl použit Tukey post-hoc test a rozdíl byl spočítán jako rozdíl průměru s 95% intervaly spolehlivosti (CI). Pro nenormálně rozložená data byl použit Kruskal-Wallis rank sum test a v případě signifikantního výsledku byla provedena post-hoc analýza pomocí Wilcoxonova testu. Rozdíl mezi skupinami byl kvantifikován pomocí Hodges–Lehmann odhadu rozdílů mediánů s 95% CI.

Hodnota statistické významnosti byla pro všechny analýzy stanovena na $\alpha=0,05$. Pro statistické zpracování dat byly použity programy Microsoft Excel MS Office 365 a RStudio (verze 2023.09.02).

5 VÝSLEDKY

5.1 Charakteristika výzkumného souboru

V rámci statistického zpracování bylo vyhodnoceno celkem 52 dívek ve věku 8–15 let, průměrný věk souboru byl $12,35 \pm 2,04$ let. Kvůli chybějícím datům nebo chybě v přístroji bylo v případě Landing Error Scoring System (LESS) statisticky vyhodnoceno 47 dívek, v případě měření dynamické rovnováhy 50 dívek. Účastnice byly na základě pravidel uvedených v kapitole 4.2.3. rozděleny do 4 skupin. Skupina prepubertal (PRE) zahrnovala 13 dívek, skupina early-pubertal (EPUB) 6 dívek, mid-pubertal (MPUB) 8 dívek a skupina late-pubertal (LPUB) 25 dívek. Podrobná charakteristika výzkumného souboru je uvedena v Tabulce 2.

Tabulka 2

Charakteristika výzkumného souboru

	Celkem	PRE	EPUB	MPUB	LPUB
Počet	52	13	6	8	25
Věk (roky)	12,35±2,02 (8,45-15,85)	9,92±1,20 (8,45-12,24)	10,57±0,59 (9,35-11,44)	12,56±0,71 (11,73-13,96)	13,99±0,95 (12,52-15,85)
Výška ve stoji (cm)	157,97±12,61 (125,40-187,40)	143,72±10,54 (125,40-162,10)	149,69±6,11 (142,90-162,80)	161,46±5,62 (154,50-172,10)	166,78±6,83 (157,20-187,40)
Hmotnost (kg)	49,81±13,21 (22,64-81,18)	36,76±11,96 (22,64-70,36)	43,51±7,41 (30,73-51,64)	46,97±6,47 (39,18-61,00)	59,08±8,53 (40,91-81,18)
BMI (kg/m²)	19,64±3,45 (14,11-27,01)	17,49±3,87 (14,11-27,01)	19,48±3,68 (14,70-25,29)	18,07±2,74 (15,13-23,19)	21,19±2,35 (14,85-26,97)
% BF	22,40±7,46 (8,40-37,30)	19,55±8,08 (11,10-37,00)	22,67±9,52 (12,50-37,30)	18,35±7,07 (11,20-31,50)	24,76±5,34 (8,40-35,20)
PAH	172,95±8,39 (161,33-205,22)	179,05±11,95 (164,04-205,22)	169,30±2,28 (165,81-172,42)	172,36±5,73 (164,33-181,75)	170,83±5,76 (161,33-186,99)
%PAH	91,48±7,64 (70,41-100,37)	80,35±4,40 (70,41-84,88)	87,12±1,31 (85,59-88,82)	93,68±1,20 (90,79-94,69)	97,62±1,53 (95,04-100,37)

Poznámka: Uvedené hodnoty jsou vždy ve formátu průměr ± směrodatná odchylka (SD), (minimální hodnota-maximální hodnota), vždy se zaokrouhlením na dvě desetinná místa. PRE=prepubertal; EPUB=early-pubertal; MPUB=mid-pubertal; LPUB=late-pubertal; BMI=body mass index; % BF= procento tělesného tuku; PAH=předpokládaná výška v dospělosti; %PAH=procento z předpokládané výšky v dospělosti.

5.2 Výsledky korelací

Pomocí Shapiro-Wilk testu pro interpretaci normality dat bylo zjištěno, že procento z předpokládané výšky v dospělosti (%PAH) má hodnotu p-value <0,001, tedy se jedná o nenormálně rozložená data. Na podkladě Spearmanovy korelace bylo zjišťováno, zda %PAH souvisí s dalšími proměnnými. Výsledky korelací jsou uvedeny v Tabulce 3.

Byla zjištěna signifikantní negativní slabá korelace mezi %PAH a Beighton skórem, statestézií PHK, a rychlostí pohybu centra tlaku (CoP) v anteroposteriorní rovině pro dominantní dolní končetinu (Tabulka 3). Byla zjištěna signifikantní negativní střední korelace mezi %PAH a kongruentních a nekongruentních reakčním časem (Tabulka 3). Ostatní korelace neodhalily žádné další signifikantní vztahy mezi proměnnými (Tabulka 3).

Tabulka 3

Korelace procenta z předpokládané výšky v dospělosti s jednotlivými proměnnými

Proměnné korelované s %PAH	p-value	ρ	Interpretace ρ
LESS	0,816	-0,035	zanedbatelná
Beighton skóre	0,026*	-0,308	slabá
Statestézie PHK	0,031*	-0,299	slabá
Statestézie LHK	0,124	-0,216	slabá
Somatognozie	0,815	0,033	zanedbatelná
RT congruent	<0,001*	-0,629	střední
RT incongruent	<0,001*	-0,585	střední
Flanker effect	0,752	-0,448	střední
Balanc rychlost CoP X DDK	0,656	-0,065	zanedbatelná
Balanc rychlost CoP X NDK	0,904	0,017	zanedbatelná
Balanc rychlost CoP Y DDK	0,030*	-0,308	slabá
Balanc rychlost CoP Y NDK	0,094	-0,240	slabá
Balanc rozsah CoP X DDK	0,606	-0,075	zanedbatelná
Balanc rozsah CoP X NDK	0,684	-0,059	zanedbatelná

Balanc rozsah CoP Y DDK	0,293	-0,152	slabá
Balanc rozsah CoP Y NDK	0,883	0,021	zanedbatelná
% BF	0,080	0,245	slabá
Věk	<0,001*	0,895	silná

Poznámka: %PAH=procento z předpokládané výšky v dospělosti; LESS=Landing Error Scoring System; PHK=pravá horní končetina; LHK=levá horní končetina; RT congruent=reakční čas u kongruentních odpovědí; RT incongruent=reakční čas u nekongruentních odpovědí; CoP=centrum tlaku; X=mediolaterální směr; Y=anteroposteriorní směr; DDK=dominantní dolní končetina; NDK=nedominantní končetina; % BF=procento tělesného tuku; ρ =korelační koeficient. Hodnoty p-value, ρ byly zaokrouhleny na 3 desetinná místa. *p-value <0,05 (signifikantní)

5.3 Porovnání LESS mezi skupinami

Data byla nenormálně rozložena, proto byl k porovnání LESS mezi skupinami využit Kruskal-Wallis rank sum test. Mezi skupinami (Tabulka 4) nebyl zaznamenán signifikantní rozdíl $\chi^2(3) = 4,40$, $p = 0,221$.

Na základě nesignifikantní korelace %PAH a LESS skóre a nesignifikantních rozdílů v LESS skóre mezi skupinami je H_0 potvrzena.

Tabulka 4

Landing Error Scoring System skóre u jednotlivých maturačních skupin

	Počet	LESS medián (IQR)	Počet vysoce rizikem ohrožených	% vysoce rizikem ohrožených
PRE	12	6,67 (2,75)	11	91,70
EPUB	6	5,67 (0,50)	5	83,30
MPUB	6	5,17 (1,33)	4	66,70
LPUB	23	5,67 (1,33)	17	73,90

Poznámka: LESS=Landing Error Scoring System; IQR=mezikvartilové rozpětí; PRE=prepubertal; EPUB=early-pubertal; MPUB=mid-pubertal; LPUB=late-pubertal.

5.4 Porovnání Beighton skóre mezi skupinami

Beighton skóre je hodnoceno pomocí ordinální stupnice, proto byl k porovnání rozdílů mezi skupinami použit Kruskal-Wallis rank sum test. Mezi skupinami (Tabulka 5) nebyl zaznamenán signifikantní rozdíl $\chi^2(3) = 4,89$, $p = 0,180$.

Na základě signifikantní korelace %PAH a Beightonova skóre (p -value=0,026, ρ =-0,308, Tabulka 3) je H_0 2 vyvrácena.

Tabulka 5

Beighton skóre u jednotlivých maturačních skupin

	Počet	BS medián (IQR)	Počet hypermobilních	%hypermobilních
PRE	13	5 (2)	9	69,2 %
EPUB	6	4 (3)	2	33,3 %
MPUB	8	5 (3,5)	5	62,5 %
LPUB	25	3 (3)	8	32,0 %

Poznámka: BS=Beighton skóre; IQR=mezikvartilové rozpětí; PRE=prepubertal; EPUB=early-pubertal; MPUB=mid-pubertal; LPUB=late-pubertal.

5.5 Porovnání statestieze mezi skupinami

Data byla normálně rozložena, proto byla k porovnání schopnosti statestieze pro pravou (PHK) a levou (LHK) horní končetinu mezi skupinami využita jednosměrná ANOVA. Mezi skupinami (Tabulka 6) byl zaznamenán signifikantní rozdíl $F(3) = 3,80$, p -value = 0,016 pro PHK. Post-hoc analýza ukázala signifikantní rozdíl (p -value=0,010) mezi skupinami PRE a LPUB ve statestiezi PHK, kde PRE měla o 3,11 cm [95% CI = 0,591 až 5,629] větší hodnoty než LPUB. Mezi skupinami (Tabulka 6) nebyl zaznamenán signifikantní rozdíl $F(3) = 2,73$, p -value = 0,054 pro LHK.

Na základě signifikantní korelace %PAH a statestiezií PHK (p -value=0,031, ρ =-0,299, Tabulka 3) a na základě signifikantního rozdílu mezi skupinami pro PHK je H_0 3 vyvrácena.

Tabulka 6*Statestezie pravé a levé horní končetiny u jednotlivých maturačních skupin*

	Počet	Statestezie PHK průměr±SD	Statestezie LHK průměr±SD
PRE	13	7,15±3,44	6,67±2,98
EPUB	6	5,03±2,53	7,05±3,62
MPUB	8	4,28±3,15	4,75±1,90
LPUB	25	4,04±2,28	4,60±2,37

Poznámka: Statestezie=vzdálenost bříška nehtu PHK v cm na milimetrovém papíře od jeho středu (původní pozice); PHK=pravá horní končetina; LHK=levá horní končetina; SD=směrodatná odchylka; PRE=prepupertal; EPUB=early-pupertal; MPUB=mid-pupertal; LPUB=late-pupertal.

5.6 Porovnání somatognozie mezi skupinami

Data byla nenormálně rozložena, proto byl k porovnání schopnosti somatognozie mezi skupinami využit Kruskal-Wallis rank sum test. Mezi skupinami (Tabulka 7) nebyl zaznamenán signifikantní rozdíl $\chi^2(3) = 1,91$, $p = 0,593$.

Na základě nesignifikantní korelace %PAH a somatognozie a nesignifikantních rozdílů v somatognozii mezi skupinami je H_0 potvrzena.

Tabulka 7*Somatognoie u jednotlivých maturačních skupin*

	Počet	Somatognozie medián (IQR)
PRE	13	5,4 (6,2)
EPUB	6	5,7 (7,4)
MPUB	8	-0,3 (5,7)
LPUB	25	5,5 (6,5)

Poznámka: Somatognozie=rozdíl odhadované vzdálenosti probandem a změřenou biliacální vzdáleností; PRE=prepupertal; EPUB=early-pupertal; MPUB=mid-pupertal; LPUB=late-pupertal.

5.7 Porovnání reakčního času mezi skupinami

Data byla nenormálně rozložena, proto byl k porovnání kongruentního reakčního času mezi skupinami využit Kruskal-Wallis rank sum test. Mezi skupinami (Tabulka 8) byl zaznamenán signifikantní rozdíl $\chi^2(3) = 18,75$, $p\text{-value} < 0,001$. Post-hoc analýza ukázala signifikantní rozdíl mezi skupinami PRE a MPUB ($p\text{-value} = 0,025$, Tabulka 8), dále signifikantní rozdíl mezi skupinami PRE a LPUB ($p\text{-value} = 0,001$, Tabulka 8) a signifikantní rozdíl mezi EPUB a LPUB ($p\text{-value} = 0,025$, Tabulka 8) v kongruentním reakčním čase.

Data byla nenormálně rozložena, proto byl k porovnání nekongruentního reakčního času mezi skupinami využit Kruskal-Wallis rank sum test. Mezi skupinami (Tabulka 8) byl zaznamenán signifikantní rozdíl $\chi^2(3) = 15,91$, $p\text{-value} = 0,001$. Post-hoc analýza ukázala signifikantní rozdíl ($p\text{-value} = 0,001$) mezi skupinami PRE a LPUB v nekongruentním reakčním čase.

Data byla normálně rozložena, proto byla k porovnání Flanker effect mezi skupinami využita jednosměrná ANOVA. Mezi skupinami (Tabulka 8) nebyl zaznamenán signifikantní rozdíl $F(3) = 1,48$, $p\text{-value} = 0,231$.

Na základě signifikantní korelace %PAH a RT congruent ($p\text{-value} < 0,001$, $\rho = -0,629$, Tabulka 3) a %PAH a RT incongruent ($p\text{-value} < 0,001$, $\rho = -0,585$, Tabulka 3) a signifikantních rozdílů v RT congruent a RT incongruent mezi skupinami je H_0 5 vyvrácena.

Tabulka 8

Reakční čas u jednotlivých maturačních skupin

	Počet	RT congruent medián (IQR)	RT incongruent medián (IQR)	Flanker effect průměr±SD
PRE	13	858 (158)	873 (140)	62,2±110
EPUB	6	920 (238)	906 (294)	38,5±72,5
MPUB	8	726 (64,5)	726 (226)	92,4±118
LPUB	25	667 (134)	701 (133)	25,9±52,6

Poznámka: RT=reakční čas; IQR=mezikvartilové rozpětí; SD=směrodatná odchylka; PRE=prepubertal; EPUB=early-pubertal; MPUB=mid-pubertal; LPUB=late-pubertal. Hodnoty RT jsou uvedeny v milisekundách.

5.8 Porovnání dynamické rovnováhy mezi skupinami

5.8.1 Porovnání rychlosti centra tlaku mezi skupinami

Data byla normálně rozložena, proto byla k porovnání rychlosti CoP v rovině X na dominantní dolní končetině mezi skupinami využita jednosměrná ANOVA. Mezi skupinami (Tabulka 9) nebyl zaznamenán signifikantní rozdíl $F(3) = 1,14$, $p\text{-value} = 0,344$.

Data byla nenormálně rozložena, proto byl k porovnání rychlosti CoP v rovině X na nedominantní dolní končetině mezi skupinami využit Kruskal-Wallis rank sum test. Mezi skupinami (Tabulka 9) nebyl zaznamenán signifikantní rozdíl $\chi^2(3) = 0,27$, $p = 0,966$.

Data byla normálně rozložena, proto byla k porovnání rychlosti CoP v rovině Y na dominantní dolní končetině mezi skupinami využita jednosměrná ANOVA. Mezi skupinami (Tabulka 9) byl zaznamenán signifikantní rozdíl $F(3) = 2,95$, $p\text{-value} = 0,043$. Post-hoc analýza neprokázala žádný signifikantní rozdíl mezi skupinami. Velmi těsné, ale stále nesignifikantní výsledky ($p\text{-value}=0,051$, Tabulka 9) byly zaznamenány mezi skupinami PRE a LPUB v rychlosti pohybu CoP v rovině Y na dominantní dolní končetině.

Data byla normálně rozložena, proto byla k porovnání rychlosti CoP v rovině Y na nedominantní dolní končetině mezi skupinami využita jednosměrná ANOVA. Mezi skupinami (Tabulka 9) nebyl zaznamenán signifikantní rozdíl $F(3) = 1,65$, $p\text{-value} = 0,190$.

Tabulka 9

Rychlost pohybu centra tlaku u jednotlivých maturačních skupin

	Počet	Rychlost X DDK průměr±SD	Rychlost X NDK medián (IQR)	Rychlost Y DDK průměr±SD	Rychlost Y NDK průměr±SD
PRE	13	0,05±0,01	0,04 (0,01)	0,07±0,01	0,06±0,01
EPUB	5	0,05±0,01	0,05 (0,02)	0,06±0,02	0,06±0,01
MPUB	8	0,05±0,01	0,04 (0,02)	0,07±0,01	0,07±0,01
LPUB	24	0,05±0,01	0,04 (0,01)	0,06±0,01	0,06±0,01

Poznámka: X=mediolaterální rovina; Y= anteroposteriorní rovina; DDK=dominantní dolní končetina; NDK=nedominantní dolní končetina; SD=směrodatná odchylka; IQR=mezikvartilové rozpětí; PRE= prepubertal; EPUB=early-pubertal; MPUB=mid-pubertal; LPUB=late-pubertal. Hodnoty rychlosti pohybu CoP jsou uvedeny v metrech za sekundu.

5.8.2 Porovnání rozsahu pohybu centra tlaku mezi skupinami

Data byla nenormálně rozložena, proto byl k porovnání rozsahu pohybu CoP v rovině X na dominantní dolní končetině mezi skupinami využit Kruskal-Wallis rank sum test. Mezi skupinami (Tabulka 10) nebyl zaznamenán signifikantní rozdíl $\chi^2(3) = 1,73$, $p = 0,631$.

Data byla nenormálně rozložena, proto byl k porovnání rozsahu pohybu CoP v rovině X na nedominantní dolní končetině mezi skupinami využit Kruskal-Wallis rank sum test. Mezi skupinami (Tabulka 10) nebyl zaznamenán signifikantní rozdíl $\chi^2(3) = 4,14$, $p = 0,247$.

Data byla nenormálně rozložena, proto byl k porovnání rozsahu pohybu CoP v rovině Y na dominantní dolní končetině mezi skupinami využit Kruskal-Wallis rank sum test. Mezi skupinami (Tabulka 10) nebyl zaznamenán signifikantní rozdíl $\chi^2(3) = 2,13$, $p = 0,546$.

Data byla nenormálně rozložena, proto byl k porovnání rozsahu pohybu CoP v rovině Y na nedominantní dolní končetině mezi skupinami využit Kruskal-Wallis rank sum test. Mezi skupinami (Tabulka 10) nebyl zaznamenán signifikantní rozdíl $\chi^2(3) = 6,29$, $p = 0,10$.

Tabulka 10

Rozsah pohybu centra tlaku u jednotlivých maturáčních skupin

	Počet	Rozsah X DDK medián (IQR)	Rozsah X NDK medián (IQR)	Rozsah Y DDK medián (IQR)	Rozsah Y NDK medián (IQR)
PRE	13	0,04 (0,02)	0,04 (0,01)	0,07 (0,05)	0,06 (0,01)
EPUB	5	0,04 (0,01)	0,04 (0,01)	0,06 (0,01)	0,07 (0,01)
MPUB	8	0,04 (0,01)	0,04 (0,01)	0,07 (0,02)	0,09 (0,02)
LPUB	24	0,04 (0,01)	0,04 (0,01)	0,06 (0,02)	0,07 (0,01)

Poznámka: X=mediolaterální rovina; Y= anteroposteriorní rovina; DDK=dominantní dolní končetina; NDK=nedominantní dolní končetina; IQR=mezikvartilové rozpětí; PRE= prepubertal; EPUB=early-pubertal; MPUB=mid-pubertal; LPUB=late-pubertal. Hodnoty rozsahu pohybu CoP jsou uvedeny v metrech.

Na základě signifikantní korelace %PAH a rychlosti pohybu CoP v rovině Y na dominantní dolní končetině (p -value=0,030, ρ =-0,308, Tabulka 3) byla H_0 vyvrácena.

6 DISKUSE

Riziko zranění dolních končetin je v rámci výzkumu nejčastěji asociováno s chronologickým věkem. Současné poznatky ovšem informují o důležitosti biologického věku (Li et al., 2023; Lloyd et al., 2014; Lopez-Valenciano et al., 2023). A tak z důvodu nedostatku informací o testování spojeném s maturací a potenciálních rizikových faktorech pro zranění dolních končetin (Lopez-Valenciano et al., 2023) byla právě tato oblast vybrána pro výzkum.

Cílem této diplomové práce bylo posoudit vliv maturace na riziko zranění dolních končetin u volejbalistek ve věku 7–15 let. Dále byly zjišťovány rozdíly v riziku zranění mezi jednotlivými maturačními skupinami dívek.

Z teoretické části vyplývající předpoklad, že riziko zranění u pubertálních dívek bude vyšší než u prepubertálních, například z pohledu laxicity vaziva, a tedy generalizované hypermobility (Lloyd et al., 2014; Quatman et al., 2008), se v této diplomové práci nepotvrdilo. Bylo zjištěno snižování rizika zranění od pubertálních směrem k pozdně pubertálním dívkám v několika testech: Beighton skóre pro hodnocení generalizované hypermobility, hodnocení statestézie, hodnocení reakčního času a hodnocení dynamické rovnováhy na jedné dolní končetině. V těchto oblastech je tak vhodné zařadit preventivní programy specificky již u prepubertálních dívek ideálně vždy specificky k biologickému věku.

6.1 Diskuse k výzkumnému souboru

V rámci diplomové práce tvořily výzkumný soubor dívky ve věku 7–15 let. Tento věk byl vybrán z důvodu progrese maturace v tomto období. Zejména progrese sexuální maturace a růstový spurt, konkrétně peak height velocity (PHV) charakterizují pubertu. Vstup do puberty popisují autoři Abreu a Kaiser (2016) u dívek ve věku 8–12 let. Sexuální maturace u dívek je dle dostupné literatury nejčastěji odhadována na základě věku při menarché či Tannerovy stupnice. Autoři Lloyd et al. (2014) udávají průměrný věk při menarché $12,9 \pm 0,9$ let. Dívky v rámci výzkumu byly požádány o samovyšetření a následné zhodnocení prsou a pubického ochlupení a přirovnání k Tannerovým stádiím. Nicméně z důvodu získání těchto informací pouze od méně, než poloviny účastnic nebyly tyto údaje brány v úvahu. Rozmezí věku při PHV, zastupujícím somatickou maturaci, bývá v literatuře uváděno v poměrně širokém období. Lloyd et al. (2014) uvádí průměrně PHV u dívek okolo 12 let chronologického věku, Malina et al. (2015) popisují rozmezí 9-15 let. Cumming, Lloyd, Oliver, Eisenmann a Malina (2017) uvádí v rámci maturace PHV mezi 88 a 96 % z předpokládané výšky v dospělosti (PAH), nejčastěji okolo 92 %PAH.

Výzkumný soubor byl rozdělen na základě Khamis-Roche metody podle procenta z PAH do 4 skupin. Kritéria, která jsme zvolili pro rozdělení byla: prepubertal (PRE) <85 %PAH, early-pubertal (EPUB) ≥85 % a zároveň <90 %PAH, mid-pubertal ≥90 % a zároveň <95 %PAH, late-pubertal ≥95 %PAH (Cumming et al., 2017).

Dělení dívek do maturačních skupin na základě %PAH je ve studiích běžné. Například ve studii Westbrook et al. (2020) probandy rozdělili na základě Khamis-Roche metody do 3 skupin: PRE <87 %PAH, pubertal (PUB) ≥87 a zároveň <94 %PAH, post-pubertal (POST) ≥ 94 %PAH. Více podrobněji dělili probandy autoři Hewett, Myer, Kiefer a Ford (2015), a to celkem do 10 skupin od 81 do 100 %PAH (např.: 81–82, 83–84, ..., 99–100 %PAH). Jejich výzkumný soubor ovšem tvořilo 892 probandů. Z důvodu malého počtu účastníků výzkumu nebylo možné probandy dělit stejně jako ve studii autorů Hewett et al. (2015). Nicméně námi navržené rozdělení skupin bylo pro účely tohoto výzkumu plně dostačující.

V rámci výběru výzkumného souboru jsme se zaměřili pouze na dívky, a to z důvodu rozdílnosti v době nástupu puberty i růstového spurtu u obou pohlaví, popisované mnoha autory (Abreu & Kaiser, 2016; Lloyd et al., 2014; Malina et al., 2015). Dalším důvodem byla rozdílnost v maturaci různých tkání, zvýrazňující se zejména v době PHV mezi dívkami a chlapci, přičemž dívky bývají ve větším riziku zranění (Lloyd et al., 2014).

Sportující populace probandů byla vybrána z důvodu snahy o homogenní skupinu, tedy sportující dívky ve stejném klubu, které podstupují podobný trénink o často podobné intenzitě.

6.2 Diskuse k metodice práce

V rámci výzkumu byly vybrány testy hodnotící riziko zranění dolních končetin způsobené různými rizikovými faktory, například neadekvátní biomechanikou doskoku či pomalým reakčním časem.

Landing Error Scoring System (LESS), jakožto validní a reliabilní test (Hanzlíková & Hébert-Losier, 2020) byl prováděn pro celkové posouzení biomechanických rizikových faktorů zranění dolních končetin u hráček. Padua et al. (2015) udává, že skóre 5 a více bodů v LESS je spojeno s až 11krát vyšším rizikem poranění ligamentum cruciatum anterior (LCA). LESS skóre k posouzení rizika zranění využili například autoři Limroongreungrat, Mawhinney, Kongthongsung a Pitakathienkul (2022) u mladých hráčů a hráček volejbalu ve věku 10-13 let. U podobné věkové skupiny (průměrný věk 13±2 roky) toto skórování použili i autoři Root, Trojian, Martinez, Kraemer a DiStefano (2015) pro zjištění efektivity preventivních programů.

Hodnocení hypermobility bylo zahrnuto na základě faktu, že dívky v pubertě a po ní mají dle dostupných zdrojů zvýšenou laxicitu vazů oproti chlapcům, což z nich dělá rizikovou skupinu náchylnou ke zranění (Lloyd et al., 2014; Quatman et al., 2008). Pozitivní souvislost mezi generalizovanou hypermobilitou a výskytem zranění zjistili autoři Smith, Damodaran, Swaminathan, Campbell a Barnsley (2005) u juniorských hráček netballu. Také dle autorů Tobias et al. (2013) je generalizovaná hypermobilita u adolescentů rizikovým faktorem pro vznik muskuloskeletálního zranění. Tuto rizikovost ještě zvyšuje obezita adolescenta. Kloubní hypermobilita totiž vede dle těchto výzkumníků k bolesti v místech, na něž působí největší síly (Tobias et al., 2013). K opačnému závěru vzhledem k hmotnosti jedince došli autoři Sanjay, Bagalkoti a Kubasadgoudar (2013), kteří zjistili negativní korelaci mezi generalizovanou hypermobilitou a body mass indexem (BMI) u dětí ve věku 6–12 let. Tato diplomová práce se svými výsledky ztotožňuje právě s tvrzením autorů Sanjay et al. (2013). U volejbalistek ve věku 8–15 let bylo vyšší hodnocení v rámci Beighton skóre zjištěno v maturačních skupinách s nižším BMI i procentem tělesného tuku, konkrétně ve skupinách PRE a MPUB. Nejčastěji používaná a realia bilní škála pro určení generalizované hypermobility je Beighton skóre (Tobias et al., 2013), které bylo použito i v této diplomové práci.

Schopnosti statestézie a somatognozie umožňují jedinci vnímat vlastní tělo a jeho polohu vzhledem k okolí jsou založeny na propiocepci. Narušená propiocepce je rizikovým faktorem přispívajícím jak k poranění kloubu, tak i k následné osteoartróze (Clark et al., 2016). Pro sportovní výkon je nezbytná dobrá kvalita gnostických a ideomotorických funkcí. Poruchy motorické kontroly (Tapajcikova, Líška, Batalik, Tucker, & Kobesova, 2022) a propioceptivní deficity mohou být příčinou muskuloskeletálního zranění (Ghaderi, Letafatkar, Almonroeder, & Keyhani, 2020). V rámci diplomové práce byly použity testy pro statestézii a somatognozii dle autora Kolář (2012), které jsou využívány zejména v České republice. U těchto testů nebyla ověřena validita a reliabilita, ale jedná se o klinické testy, které lze jednoduše vyšetřit. Proto byly zvoleny do tohoto výzkumu.

Hodnocení reakčního času bylo zařazeno z důvodu souvislosti neurokognitivních funkcí a rizika zranění. Herman a Barth (2016) zjistili souvislost mezi neurokognitivní funkcí při hodnocení reakčního času a zvýšenou abdukci kolene, reakční silou podložky a smykovou silou tibie během reaktivního (neočekávaného) přistání, tedy rizikovými faktory zranění LCA. Walker, Brunst, Chaput, Wohl a Grooms (2021) také popisují reakční čas v souvislosti s rizikem zranění. Udávají, že zařazení neurokognitivních výzev do tréninku může zlepšit prevenci zranění. Proto je vhodné také neurokognitivní trénink zařadit jak do testování, tak i do tréninku v rámci prevence poranění (Walker et al., 2021). Ve výzkumu v rámci diplomové práce byl zvolen validní

(Amin et al., 2023) a reliabilní (Oeri et al., 2019) Flanker test pro zhodnocení selektivní zrakové pozornosti a inhibice odezvy.

Dynamická rovnováha má zásadní význam a ve volejbale je nezbytně nutná (Abdelkader, Romanelli, & Hogg-Johnson, 2021). Využití dynamického úkolu dolních končetin zvýrazňuje při testování míru posturálních poruch oproti statickému úkolu (Culvenor et al., 2016). Zároveň je nedostatečná dynamická rovnováha uváděna jako rizikový faktor poranění vazů, šlach a svalů (Abdelkader et al., 2021; Kim, Qu, & Lam, 2021). Nekonzistentní názory jsou u vlivu nedostatečné dynamické rovnováhy na poranění laterálních vazů v kotníku u mladých dívek, kdy někteří autoři uvádí dynamickou rovnováhu jako rizikový faktor (Taketomi et al., 2024), naopak autoři Mason, Kniewasser, Hollander a Zech (2022) v systematickém přehledu a meta-analýze popisují nedostatečnou dynamickou rovnováhu jako rizikový faktor pouze u mužského pohlaví, u ženského nikoliv. Současně jsou i vysoce nekonzistentní názory v otázce, zda asymetrie mezi dolními končetinami (v dynamické rovnováze, flexibilitě, svalové síle) může predikovat sportovní zranění (Guan et al., 2022). V provedeném výzkumu nebyl pozorován rozdíl v dynamické rovnováze mezi dominantní a nedominantní dolní končetinou, který by vedl ke zvýšenému riziku zranění.

Pro hodnocení dynamické rovnováhy existují klinické reliabilní testy jako Star Excursion Balance Test a Y-balance test (Powden, Dodds, & Gabriel, 2019). Tyto testy ovšem nejsou příliš přesné. Proto byla pro tuto práci použita silová plošina, která zaznamenává kvantitativní údaje a přesně určí trajektorii a rychlost pohybu centra tlaku (center of pressure, CoP). Větší exkurze pohybů CoP jsou spojeny s vyšším rizikem zranění. Pohyby CoP v mediolaterálním směru poukazují na zvýšené nároky na kontrolu pohybu zejména kolene při dynamickém úkolu (Culvenor et al., 2016). Při použití testu dřepu na jedné dolní končetině popisují autoři Culvenor et al. (2016) větší prokázání odchylek v mediolaterálním směru. Dřep na jedné dolní končetině na silové plošině bývá často využíván pro zhodnocení dynamické rovnováhy. Autoři Bellizzi et al. (2022) porovnávali dřep na jedné dolní končetině s dalšími podobnými dynamickými úkoly na jedné dolní končetině (například krok ze schodu dolů na silovou plošinu). Došli k závěru, že dřep na jedné dolní končetině klade vyšší nároky na ovládání pohybu ve frontální a sagitální rovině oproti dalším úkolům, a pro zjištění pohybu COP v těchto rovinách je tak výhodným testem (Bellizzi et al., 2022). Autoři Mohd Azhar, Affandi, Mail a Shaharudin (2019) využili dřep na jedné dolní končetině k testování kinematiky dolní končetiny u sportujících chlapců ve věku 13-18 let (Mohd Azhar et al., 2019). K hodnocení rizika zranění u adolescentních hráček volejbalu (průměrný věk $14,7 \pm 1,4$ let) využili dřep na jedné dolní končetině i autoři Ulman et al. (2022).

6.3 Diskuse k výsledkům

6.3.1 Diskuse k hypotéze H_01

H_01 : LESS skóre signifikantně nesouvisí s biologickým věkem a neliší se mezi skupinami volejbalistek v odlišném biologickém věku.

Tato práce neprokázala signifikantní korelaci mezi LESS a biologickým věkem, a nebyl dokázán signifikantní rozdíl v LESS mezi jednotlivými maturačními skupinami. Byl sice naznačen trend snižujícího se rizika během maturace, kdy skupina prepubertal (PRE) měla nejvyšší medián LESS skóre (medián 6,67; mezikvartilové rozpětí (IQR) 2,75) a měla nejvyšší procento rizikem vysoce ohrožených dívek (91,7 %), nicméně skóre u dalších skupin nebylo signifikantně rozdílné a neklesalo lineárně.

V rámci nám známé literatury prozatím nebyl vztah maturace a LESS na dospívajících dívkách zkoumán. Studie Padua et al. (2015) (průměrný věk $13,9 \pm 1,8$ roku) či systematický přehled autorů Hanzlíková a Hébert-Losier (2020) (průměrný věk $15,7 \pm 2$ roky) mají sice v rámci výzkumných souborů jedince v období dospívání, nicméně neporovnávají riziko zranění s biologickým věkem, ale chronologickým. Hanzlíková, Athens a Hébert-Losier (2021) uvádí věk jako rizikový faktor zranění LCA a LESS by tak mohl být ovlivněn věkem. Jsou ovšem zapotřebí studie, které by určily, zda je potřeba jiné hranice LESS pro zachycení rizikem ohrožených jedinců v různých věkových kategoriích (Hanzlíková et al., 2021).

Svou podobností k této výzkumné hypotéze lze zmínit longitudinální studii autorů Lehnert, Krejčí, Janura a De Ste Croix (2022), kteří zkoumali souvislost mezi věkem a změnou biomechaniky při doskoku. V rámci výzkumu testovali dvě skupiny chlapců-hráčů fotbalu ve dvou soutěžních věkových kategoriích: U14 a U16. Obě skupiny byly testovány v technice doskoku ve třech po sobě jdoucích sezónách. Přestože nebyl odhalen rozdíl mezi těmito dvěma skupinami v LESS, byl zjištěn rozdíl v jednotlivých skupinách při opakovaných měřeních. V obou testovaných skupinách LESS významně pokleslo ve druhém i třetím roce ve srovnání s prvním rokem. Výsledek výzkumu tak naznačuje zlepšující se biomechaniku doskoku během maturace (Lehnert et al., 2022). Jelikož ovšem byla tato studie provedena na chlapcích, jejichž vývoj se od vývoje dívek, zejména v období puberty liší, nelze tyto studie přímo srovnávat.

Důkaz, že LESS se v období dospívání mezi pohlavími liší, přinesli autoři Limroongreungrat et al. (2022). Zkoumali LESS u mladých hráčů a hráček volejbalu ve věku 10–13 let. Data podle výsledků hodnocení v LESS rozdělili do čtyř skupin (excelentní ≤ 4 body, dobrý 4–5 bodů, střední 5–6 bodů, špatný > 6 bodů). Zatímco u chlapců bylo rozložení skupin 42,27% excelentní, 15,46% dobrý, 26,8% střední a 15,46% špatný, u dívek byla nejčastější skupina s LESS skóre nad 6 bodů,

tedy rozložení bylo 21,32% excelentní, 17,65% dobrý, 24,26% střední a 36,76% špatný. Závěry této studie tedy podporují výše popsaná tvrzení, že dívky jsou během dospívání rizikovější skupinou vzhledem ke zranění oproti chlapcům.

Ve všech maturačních skupinách bylo zaznamenáno více než 65% vysoce rizikem ohrožených dívek (LESS skóre ≥ 5 bodů). Bylo by tedy vhodné zařadit preventivní programy pro snížení rizika zranění ve všech maturačních skupinách od prepubertální až po pozdně pubertální.

6.3.2 Diskuse k hypotéze H₀₂

H₀₂: Beighton skóre signifikantně nesouvisí s biologickým věkem a neliší se mezi skupinami volejbalistek v odlišném biologickém věku.

Korelace mezi Beighton skóre a maturací sice byla signifikantní (p-value=0,026), nicméně hodnota korelačního koeficientu ($\rho=-0,308$) nepřekročila minimální detekovatelnou hranici ($\rho=-0,380$) a výsledek korelace tak nelze považovat za směrodatný. Jelikož je ovšem hodnota korelačního koeficientu poměrně blízko minimální detekovatelné hranici, lze vztah mezi maturací a generalizovanou hypermobilitou na základě Beighton skóre předpokládat. Tedy čím vyšší biologický věk, tím nižší hodnocení Beighton skóre, tedy generalizované hypermobility. Je ovšem potřeba dalších studií s větším počtem probandů pro potvrzení tohoto vztahu. Mezi jednotlivými maturačními skupinami nebyl zjištěn signifikantní rozdíl v Beighton skóre. Na základě těchto poznatků byla H₀₂ vyvrácena.

Z výsledků lze pozorovat snižující se trend Beighton skóre od PRE skupiny (medián 5, IQR 2) směrem k late-pubertal (LPUB) (medián 3, IQR 3). V rámci literatury jsou studie prokazující negativní korelaci mezi generalizovanou hypermobilitou a věkem při maturaci (Blajwajs et al., 2023; Sobhani-Eraghi, Motalebi, Sarreshtehdari, Molazem-Sanandaji & Hasanlu, 2020), nicméně jiní autoři uvádí naopak tendenci ke zvyšování laxicity vaziva v období puberty a po ní (Lloyd et al., 2014; Quatman et al., 2008).

Systematický přehled a meta-analýza autorů Sobhani-Eraghi et al. (2020) uvádí prevalenci u chlapců a dívek ve věku 3–19 let hodnocenou pomocí Beighton skóre. Prevalenci kloubní hypermobility odhadli na 34,1 % s tím, že častěji byly hypermobilní dívky. Hypermobilita s věkem u jedinců v tomto věkovém rozpětí klesala. Dle procent hypermobilních jsou výsledky výzkumu této diplomové práce u skupin PRE (69,2 %) a mid-pubertal (MPUB) (62,5 %) téměř dvakrát větší. Příčinou může být fakt, že ve studii Sobhani-Eraghi et al. (2020) bylo více než dvakrát více chlapců oproti dívkám, což snižuje celkové procento hypermobilních. Dále byl v rámci uvedené studie poměrně velký rozdíl mezi minimální a maximální věkovou hranicí. A zejména byla v rámci této

diplomové práce zvolena jiná hranice (≥ 5 bodů) pro určení hypermobility než ve zmíněné studii (≥ 4 body).

Singh et al. (2017) kritizují používání uniformní hranice 4 a více bodů Beighton skóre pro určení generalizované hypermobility pro celou populaci. Hranice se odvíjí od věku a pohlaví. Pro dívky ve věku 3–7 let je hranice generalizované hypermobility ≥ 6 bodů, pro věk 8–39 let je hranice ≥ 5 bodů. Touto hranicí se řídil i výzkum v rámci diplomové práce.

6.3.3 Diskuse k hypotéze H₀₃

H₀₃: Schopnost statestezie signifikantně nesouvisí s biologickým věkem a neliší se mezi skupinami volejbalistek v odlišném biologickém věku.

Byla zjištěna signifikantní negativní slabá korelace ($p\text{-value}=0,031$) mezi statestezií měřenou na pravé horní končetině (PHK) a maturací, nicméně pro nedostatečně velký korelační koeficient ($\rho=-0,299$) ji nelze považovat za zcela prokázanou. V rámci srovnání mezi skupin byl nalezen signifikantní rozdíl mezi skupinami PRE a LPUB, kdy skupina LPUB měla lepší schopnost statestezie o 3,11 cm [95% CI = 0,591 až 5,629] než skupina PRE. Tato schopnost se tak zdá být dle výsledků přímo úměrná maturaci. Tedy čím vyšší biologický věk, tím lepší schopnost statestezie. Mezi statestezií na levé horní končetině (LHK) a maturací nebyla zjištěna signifikantní korelace ani signifikantní rozdíly mezi jednotlivými maturačními skupinami.

Schopnost statestezie je možno hodnotit jak na horních, tak na dolních končetinách. V rámci diplomové práce byla zvolena varianta s horními končetinami, kdy byla statestezie hodnocena na celé horní končetině, ne pouze v jednom kloubu. Přestože předpokládáme, že statestezie horních a dolních končetin je korelovaná, zůstává otázkou, zda by nebylo lepší hodnotit přímo dolní končetiny.

Taktéž zůstává otázkou, proč levá horní končetina nezaznamenala signifikantní rozdíl jako pravá horní končetina. Statestezie na PHK nabývala průměrně hodnot $4,97 \pm 2,96$ cm, statestezie LHK měla průměrně $5,57 \pm 2,74$ cm. Odpovědí by mohla být jiná dominance horních končetin v maturačních skupinách, ovšem v rámci práce jsme se dívek dotazovali pouze na dominantní dolní končetinu, nikoliv horní. Proto bylo hodnocení rozděleno na pravou a levou horní končetinu, nikoli dominantní a nedominantní. Jelikož většina populace má dominantní horní končetinu pravou, může být dominance končetin vysvětlením rozdílu mezi pravou a levou horní končetinou v této studii.

Przybyla, Good a Sainburg (2012) udávají rozdíl mezi dominantní a nedominantní horní končetinou, kdy dominantní horní končetina je spojena s jemnými a cílenými pohyby, zatímco

nedominantní horní končetina je spíše asociována s řízením ustáleného postavení. Proto by bylo zajímavé porovnat statesteezii mezi dominantní a nedominantní horní končetinou.

Pro testování byl zvolen test popsáný autorem Kolář (2012), měřený na milimetrovém papíře, který hodnotí statesteezii na celé končetině. Problémem je, že není jasně daná hranice normy a patologie. Výhodou je, že se jedná o klinický test, který zabere minimum času a potřebuje minimum vybavení. V jiných testech je hodnocení statesteezie často prováděno na jednom kloubu (Baert et al., 2018; Kaya, Guney-Deniz, Sayaca, Calik, & Doral, 2019).

Ve studiích bývá na zavřených očích probanda ještě páska pro stoprocentní dodržení pravidel (Kaya et al., 2019; Romero-Franco, Romero-Franco, & Jiménez-Reyes, 2019). V tomto výzkumu jsme probanda páskou neopatřili, nicméně bylo hlídáno, aby měl proband oči plně zavřené a na testovanou horní končetinu neměl otočenou hlavu.

6.3.4 Diskuse k hypotéze H₀₄

H₀₄: Schopnost somatognozie signifikantně nesouvisí s biologickým věkem a neliší se mezi skupinami volejbalistek v odlišném biologickém věku.

Výsledky práce neprokázaly signifikantní souvislost mezi somatognozií a biologickým věkem, ani neprokázaly žádné signifikantní rozdíly v somatognozii mezi maturačními skupinami. Z těchto důvodů byla H₀₄ potvrzena.

Definice somatognozie není v zahraniční literatuře zcela jasná. Autoři se zmiňují o pojmech jako je tzv. body image, body schema, ovšem někdy jsou tyto pojmy popisovány spíše v rovině psychologické, jako schopnost přijmout svoje tělo. Ahn (2022) uvádí body image jako postoje a přesvědčení o vlastním těle. Body schema podle něj zahrnuje senzomotorické schopnosti ovládat pohyb a držení těla a lze jej vnímat jako motoricko-taktilně-kinestetické uvědomění si těla. Při porovnání české a zahraniční literatury by tak somatognozii odpovídalo spíše pojetí body schema. Povědomí o vlastním těles se rozvíjí již od útlého dětství zejména prostřednictvím motorických zkušeností dítěte.

Nedostatkem našeho výzkumu je nejasné stanovení hranice normy a patologie. Nelze tak s jistotou říct, které skupiny a jedinci jsou na základě somatognozie ohrožení rizikem. Lze pouze posoudit jednotlivé skupiny mezi sebou. Nejedná se o test, u něhož by byla prokázána validita a reliabilita, ale je jednoduše proveditelný.

Velmi podobný test využili ve studii Tapajcikova et al. (2022), kdy se probandi pokoušeli se zavřenýma očima odhadnout šířku své pěsti v horizontální rovině a šířku svých ramen ve vertikální rovině.

Další nedostatek je ve statistickém zpracování hodnot somatognozie, kdy byla porovnávána namísto změřené bitrochanterické vzdálenosti, jak popisuje Kolář (2012), biliacální vzdálenost s odhadnutou šířkou probandem.

6.3.5 Diskuse k hypotéze H₀₅

H₀₅: Reakční čas signifikantně nesouvisí s biologickým věkem a neliší se mezi skupinami volejbalistek v odlišném biologickém věku.

Byla zjištěna signifikantní negativní střední korelace mezi procentem z předpokládané výšky v dospělosti (%PAH) a kongruentním (p-value <0,001, $\rho=-0,629$) a nekongruentním (p-value <0,001, $\rho=-0,585$) reakčním časem. Dále byly nalezeny signifikantní rozdíly mezi maturačními skupinami v kongruentním (mezi PRE a mid-pubertal (MPUB), mezi PRE a LPUB, mezi early-pubertal (EPUB) a LPUB) i nekongruentním (mezi PRE a LPUB) reakčním čase. Na základě těchto poznatků byla H₀₅ vyvrácena.

V dostupné literatuře jsme neobjevili podobnou studii, která by hodnotila spojení maturace a reakčního času u sportovců v dospívajícím věku. Z výsledků je patrný nepřímý úměrný vztah mezi maturačním statusem a kongruentním i nekongruentním reakčním časem. Tedy čím vyšší byl biologický věk, tím nižší byl reakční čas. To je v souladu s údaji uváděnými autory Ciccia, Meulenbroek a Turkstra (2009), že k postupnému zvyšování rychlosti zpracování podnětů dochází od 5 až do 18 let věku. Popisují strmé zvyšování rychlosti mezi 5 až 11 rokem, pomalejší tempo zvyšování rychlosti mezi 11 až 18 rokem. Jelikož jsme v rámci diplomové práce dělili jedince na základě biologického, nikoliv chronologického věku a jedenáctiletí jedinci jsou tak ve všech skupinách kromě LPUB, nelze potvrdit tvrzení od jiné strmosti zvyšování rychlosti mezi 5. až 11. rokem života a 11. až 18. rokem života.

K podobnému závěru jako předchozí studie došla i dvojice autorů Bucsházy a Semela (2017), kteří testovali reakční čas u jedinců ve věku 3–18 let a srovnávali jej s reakčním časem u skupiny jedinců ve věku 20–30 let. Pro přesnější informace rozdělili děti a dospívající do jednotlivých věkových skupin: 3–5 let, 6–7 let, 8–9 let, 10–14 let, 15–18 let. Taktéž zjistili snižující se reakční čas v průběhu dětství a dospívání. Mezi jedinci ve rámci skupin 15–18 let a 20–30 let již nebyl významný rozdíl v reakčním čase na vizuální podnět. Věkové skupiny 6–7 let a 8–9 let se signifikantně lišily od skupiny 10–14 let a starších (Bucsházy & Semela, 2017).

6.3.6 Diskuse k hypotéze H₀₆

H₀₆: Dynamická rovnováha signifikantně nesouvisí s biologickým věkem a neliší se mezi skupinami volejbalistek v odlišném biologickém věku.

Dynamická rovnováha byla v rámci práce hodnocena pomocí dvou ukazatelů: rychlosti pohybu CoP a rozsahu pohybu CoP. Každá proměnná se sledovala v rovině Y (anteroposteriorní směr) a v rovině X (mediolaterální směr), a to na dominantní i nedominantní dolní končetině. Vyšší hodnoty rychlosti pohybu CoP značí rychlejší, a tudíž potenciálně nestabilní pohyb. Rozsah pohybu CoP označuje maximální amplitudu pohybu v rovině anteroposteriorní nebo mediolaterální. Vyšší hodnoty znamenají extrémnější výkyvy, tedy opět horší rovnováhu (Culvenor et al., 2016; Thompson, Badache, Cale, Behera, & Zhang, 2017; Wong et al., 2019).

Signifikantní negativní slabá korelace ($p\text{-value}=0,030$, $\rho=-0,308$) byla zaznamenána v případě rychlosti pohybu CoP v anteroposteriorní rovině na dominantní dolní končetině. Korelační koeficient nedosáhl minimální detekovatelné hranice, proto nelze výsledek korelace brát za zcela směrodatný a bylo by zapotřebí dalšího výzkumu s větším počtem probandů pro potvrzení tohoto vztahu. Jelikož se ale hranice korelačního koeficientu blížila hranici, je možné souvislost předpokládat. Ve stejné proměnné byl zaznamenán těsně nesignifikantní rozdíl ($p\text{-value}=0,051$) mezi skupinami PRE a LPUB, kdy skupina PRE měla o 0,01 m/s vyšší hodnoty než LPUB. Nejedná se sice o signifikantní rozdíl, nicméně výsledek je tak těsný, že lze uvažovat o tvrzení, že čím vyšší biologický věk, tím nižší rychlost pohybu CoP, potažmo lepší dynamická rovnováha. A lze tedy hovořit o zlepšování dynamické rovnováhy s vyšším biologickým věkem v období dospívání.

Z dostupné literatury vyplývá pozitivní korelace mezi maturací a dynamickou rovnováhou (Nebigh et al., 2022; Wilczyński et al., 2022). K tomuto závěru došli i autoři Nebigh et al. (2022), kteří taktéž testovali závislost maturačního zrání a dynamické rovnováhy. Pro hodnocení využili Y-balance test a zjistili pozitivní korelaci mezi maturací a dynamickou rovnováhou na dominantní dolní končetině. Tedy u starších maturačních skupin byly zaznamenány lepší výsledky dynamické rovnováhy.

Autoři Ludwig et al. (2020) nesrovnávali statickou rovnováhu s biologickým, ale s chronologickým věkem u jedinců starých 6,7–17,6 let. Také došli k závěru, že kolísání CoP s rostoucím věkem klesá, a tedy je závislé na věku.

Podobně i autoři Holden, Boreham, Doherty, Wang a Delahunt (2016) zkoumající dynamickou rovnováhu pomocí Star Excursion Balance Test došli k závěru, že během adolescence dochází ke zlepšení skóre dynamické rovnováhy.

Mezi proměnnou rozsah pohybu CoP nebyla zaznamenána signifikantní korelace s biologickým věkem. Současně nebyly pozorovány signifikantní rozdíly mezi jednotlivými maturačními skupinami v rozsahu pohybu CoP v anteroposteriorní a mediolaterální rovině na dominantní ani na nedominantní dolní končetině. Vysvětlením by mohlo být, že probandi využívali jiné kompenzační strategie k udržení rovnováhy, například přesunout svou váhu

rychleji, a tak zabránit nestabilitě a velkému rozsahu pohybu CoP a předvídat tak změnu polohy těla účinněji (Thompson et al., 2017).

6.4 Limitace práce a doporučení pro další výzkum

Přesné časové ohraničení puberty je poměrně složité a závisí na několika faktorech. Mimo progresi růstu, která byla ve výzkumu zohledněna, je určující také sexuální maturace. Dívky byly požádány o samovyšetření a určení, ve kterém stupni Tannerovy stupnice pro pubické ochlupení a vývoj prsou jsou. Jelikož však tyto data dodala jen méně než polovina dívek, nebylo možné zahrnout sexuální maturaci v potaz.

Pro detailnější zhodnocení námi zkoumané oblasti by byl zapotřebí výzkum o větším počtu probandů. Na základě statistického zpracování 52 účastníků byla zjištěna minimální detekovatelná hodnota korelačního koeficientu $\rho=0,38$, tedy autory Schober et al. (2018) definovaná jako slabá (0,10–0,39). Pro zjištění a potvrzení i slabé korelace by tak byl zapotřebí větší vzorek testovaných dívek. Nicméně testovaný vzorek byl dostatečný na to, aby prokázal střední a silnou korelaci.

Pro případný další výzkum bychom doporučili pokusit se o srovnatelný počet probandů v jednotlivých maturačních skupinách pro lepší výpovědní hodnotu. V tomto výzkumu byl poměrně velký rozdíl jednotlivců mezi jednotlivými skupinami (PRE 13, EPUB 6, MPUB 8, LPUB 25).

V rámci prováděných testů lze jako nedostatek práce brát hodnocení statestézie, konkrétně zvolený test na horních končetinách. Pro větší přesnost by bylo lepší zvolit hodnocení statestézie na dolních končetinách, například obdobně jako popisovali autoři Strong et al. (2021). Vhodné by bylo také použít validní a reliabilní testy. Ovšem klinické testy, které by tato kritéria splňovala zatím nejsou známy.

V rámci hodnocení somatognozie by bylo dobré sjednotit pokyn pro probandy, kterou šířku pánve se mají pokusit odhadnout. Dívkám ve výzkumu toto upřesněno nebylo, pro statistické zpracování byla odhadovaná šířka srovnávána s biiliacální šířkou. Nicméně Kolář (2012) uvádí porovnání se šířkou bitrochanterickou.

Nevýhodou zpracování hodnot reakčního času je, že nebyla zpracována chybovost jedinců. Tedy kolik reakcí bylo špatných z celkového počtu reakcí. Zde by bylo zajímavé porovnání mezi maturačními skupinami a lze tak učinit v případném dalším výzkumu.

7 ZÁVĚRY

Výsledky diplomové práce prokázaly signifikantní rozdíly mezi maturačními skupinami volejbalistek ve věku 7–15 let a rizikem zranění dolních končetin ve čtyřech z šesti použitých testů.

Byla prokázána signifikantní korelace mezi maturací a Beighton skóre ($p\text{-value}=0,026$, $\rho=-0,308$). Korelační koeficient sice nedosáhl hranice minimální detekovatelné hodnoty, nicméně je jí velmi blízko. Proto tento vztah předpokládáme, přestože jej nelze brát dogmaticky.

Výsledky dokazují, že schopnost statestézie na pravé horní končetině se s maturací zlepšuje ($p\text{-value}=0,031$, $\rho=-0,299$). Mezi výsledky skupin prepubertal (PRE) a late-pubertal (LPUB) byl zjištěn signifikantní rozdíl, kdy skupina PRE měla o 3,11 cm [95% CI=0,591 až 5,629] větší hodnoty.

V rámci hodnocení reakčního času byla dokázána signifikantní negativní střední souvislost mezi maturačním statusem a hodnotami kongruentního ($p\text{-value} <0,001$, $\rho=-0,629$) i nekongruentního ($p\text{-value} <0,001$, $\rho=-0,585$) reakčního času. Signifikantní rozdíly u kongruentního reakčního času byly nalezeny mezi skupinami PRE a mid-pubertal (MPUB), PRE a LPUB a mezi early-pubertal (EPUB) a LPUB, kdy maturačně starší skupiny měly reakční čas kratší. Signifikantní rozdíly u nekongruentního reakčního času byly přítomny mezi skupinami PRE a LPUB se stejným trendem, tedy skupina PRE měla delší reakční čas než LPUB.

Signifikantní negativní slabá souvislost ($p\text{-value}=0,030$, $\rho=-0,308$) byla zaznamenána mezi maturací a rychlostí pohybu centra tlaku (CoP) v anteroposteriorní rovině na dominantní dolní končetině. Korelační koeficient opět nedosáhl hraniční hodnoty, ale blíží se mu. Jelikož vyšší hodnoty rychlosti pohybu CoP svědčí o nestabilním, a tedy potenciálně rizikovém pohybu, lze tedy předpokládat, že čím vyšší maturační stádium, tím lepší je dynamická rovnováha jedince.

Nebyla prokázána signifikantní souvislost Landing Error Scoring Systemu (LESS) s biologickým věkem a LESS se významně nelišilo mezi skupinami volejbalistek v odlišném biologickém věku.

Schopnost somatognozie signifikantně nesouvisí s biologickým věkem a významně se neliší mezi skupinami volejbalistek v odlišném biologickém věku.

Očekávání, že riziko zranění v pubertě bude vyšší než před pubertou, a to z důvodu mnoha současně probíhajících změn, nebylo potvrzeno. Bylo prokázáno snižování rizika směrem od prepubertální skupiny ke skupině v pozdní pubertě. Nejrizikovější z uvedených maturačních skupin by tedy na základě výsledků měla být skupina prepubertální.

Závěry této práce mohou pomoci identifikovat jedince s vyšším rizikem zranění v důsledku maturace (tedy prepubertální) a zaměřit se v rámci práce s nimi na preventivní programy

snižující toto riziko. Je ovšem nutné brát v potaz limitace studie a je zapotřebí dalších studií, které by výsledky tohoto výzkumu potvrdily.

8 SOUHRN

Tato diplomová práce se věnovala vlivu maturace na riziko zranění dolních končetin u volejbalistek ve věku 7–15 let. Bylo zkoumáno, zda a případně jak se riziko zranění mezi jednotlivými maturačními skupinami liší.

Teoretická část práce se zabývá vysvětlením procesů probíhajících v rámci maturace, metodami jejího hodnocení a rozdílem mezi biologickým a chronologickým věkem. Krátká podkapitola je věnována také senzitivním obdobím v rámci dospívání jedince. Dále je popsáno riziko zranění ve volejbalu, u dané věkové skupiny a je rozebrána maturace, jakožto možný rizikový faktor. Samostatnou část tvoří hodnocení rizikových faktorů.

V rámci praktické části byl proveden výzkum s 56 volejbalistkami. V rámci statistického zpracování bylo vyhodnoceno 52 dívek ve věku 8–15 let (průměrný věk $12,35 \pm 2,04$ let). Dívky byly na základě Khamis-Roche metody, pracující s předpokládanou výškou v dospělosti (PAH), rozděleny do čtyř maturačních skupin: prepubertal (PRE) ($<85\% \text{ PAH}$), early-pubertal (EPUB) ($\geq 85\% \text{ EPUB} < 90\% \text{ PAH}$), mid-pubertal (MPUB) ($\geq 90\% \text{ MPUB} < 95\% \text{ PAH}$), late-pubertal (LPUB) ($\geq 95\% \text{ PAH}$). Každá účastnice výzkumu byla podrobena těmto testům: Landing Error Scoring System (LESS), hodnocení generalizované hypermobility pomocí Beighton skóre, hodnocení schopnosti statestézie na horních končetinách, hodnocení schopnosti somatognozie odhadnutím šířky své pánve, hodnocení reakčního času s využitím Flanker testu, hodnocení dynamické rovnováhy v dřepu na jedné dolní končetině.

Byla zjištěna signifikantní negativní slabá korelace %PAH s Beighton skóre. Byla zjištěna signifikantní negativní slabá korelace %PAH se statestézií pravé horní končetiny a byly prokázány signifikantní rozdíly mezi skupinami PRE a LPUB ve statestézii na pravé horní končetině, kdy skupina PRE měla horší výsledky. Dále byla zjištěna signifikantní negativní střední korelace mezi % PAH a kongruentním i nekongruentním reakčním časem a byly zjištěny signifikantní změny při hodnocení reakčního času, a to mezi skupinami PRE a MPUB, PRE a LPUB, EPUB a LPUB, kdy skupina LPUB měla vždy lepší výsledky než méně maturačně vyzrálé skupiny. Posledním testem prokazujícím signifikantní negativní slabou korelaci s %PAH byla rychlost pohybu centra tlaku (CoP) v anteroposteriorní rovině na dominantní dolní končetině.

Z výzkumu vyplývá, že v rámci maturace dochází k vývoji a dozrávání různých struktur a systémů a na základě toho se také mění jednotlivé dovednosti. Dle výsledků je maturace signifikantně spjata s Beighton skóre, statestézií, reakčním časem a dynamickou rovnováhou. Naopak výzkum neprokázal souvislost mezi maturací a LESS a somatognozií.

Byl by zapotřebí další výzkum, který by výsledky této studie potvrdil, případně zjišťoval souvislost maturace a rizikových faktorů na základě dalších používaných testů, aby bylo jasné, na kterou skupinu se v rámci tréninku i preventivních programů zaměřit.

9 SUMMARY

This thesis focused on the influence of maturation on the risk of lower limb injuries in female volleyball players aged 7–15 years. It examined whether and how the risk of injury varies among different maturation groups.

The theoretical part of the thesis explains the processes involved in maturation, methods of assessment, and the difference between biological and chronological age. A brief subchapter also discusses sensitive periods during individual adolescence. Furthermore, it describes the risk of injury in volleyball, for the given age group and analyzes maturation as a potential risk factor. An independent section evaluates risk factors.

The practical part involved a study with 56 volleyball players. Statistical analysis evaluated 52 girls aged 8–15 years (average age $12,35 \pm 2,04$ years). Based on the Khamis-Roche method, which uses predicted adult height (PAH), the girls were divided into four maturation groups: prepubertal (PRE) ($<85\% \text{PAH}$), early-pubertal (EPUB) ($\geq 85\% \text{EPUB} < 90\% \text{PAH}$), mid-pubertal (MPUB) ($\leq 90\% \text{MPUB} < 95\% \text{PAH}$), and late-pubertal (LPUB) ($\geq 95\% \text{PAH}$). Each participant underwent several tests: Landing Error Scoring System (LESS), assessment of generalized hypermobility using the Beighton score, assessment of statesthesia in the upper limbs, estimation of pelvic width by somatognosia, reaction time assessment using the Flanker test, and assessment of dynamic balance in a single-leg squat.

A significant negative weak correlation was found between %PAH and Beighton score. A significant negative weak correlation between %PAH and statesthesia in the right upper limb was also identified, and significant differences were demonstrated between the PRE and LPUB groups in statesthesia in the right upper limb, with the PRE group showing worse results. Furthermore, a significant negative moderate correlation was found between %PAH and congruent as well as incongruent reaction time, and significant changes were observed in reaction time assessment between the PRE and MPUB groups, PRE and LPUB groups, and EPUB and LPUB groups. The last test demonstrating a significant negative weak correlation with %PAH was the speed of center of pressure (CoP) movement in the anteroposterior plane on the dominant lower limb.

The research indicates that maturation involves the development and maturation of various structures and systems, leading to changes in individual skills. According to the results, maturation is significantly associated with Beighton score, statesthesia, reaction time, and dynamic balance. However, the research did not demonstrate a correlation between maturation and LESS, and somatognosia.

Further research is needed to confirm the results of this study and to investigate the relationship between maturation and risk factors using additional tests. This would clarify which group to focus on in training and preventive programs.

10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Abdelkader, N., Romanelli, A., & Hogg-Johnson, S. (2021). Does induced fatigue alter dynamic balance in athletes? A systematic review. *The Journal of the Canadian Chiropractic Association, 65*(3), 241–259.
- Abreu, A. P., & Kaiser, U. B. (2016). Pubertal development and regulation. *The Lancet Diabetes & Endocrinology, 4*(3), 254–264. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(15\)00418-0](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(15)00418-0)
- Ahn, S. N. (2022). A systematic review of interventions related to body awareness in childhood. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 19*(15). <https://doi.org/10.3390/ijerph19158900>
- Almeida-Neto, P. F., de Matos, D. G., Pinto, V. C. M., Dantas, P. M. S., Cesário, T. M., da Silva, L. F., Bulhões-Correia, A., Aida, F. J., & Cabral, B. G. A. T. (2020). Can the neuromuscular performance of young athletes be influenced by hormone levels and different stages of puberty? *International Journal of Environmental Research and Public Health, 17*(16). <https://doi.org/10.3390/ijerph17165637>
- Amin, R., Tat, P., & Seitz, A. (2023). Validation of a virtual reality Flanker task. *UC Riverside Undergraduate Research Journal Submit, 17*(1), 11–19. <https://doi.org/10.5070/RJ517162167>
- Avedesian, J. M., Forbes, W., Covassin, T., & Dufek, J. S. (2022). Influence of cognitive performance on musculoskeletal injury risk: A systematic review. *The American Journal of Sports Medicine, 50*(2), 554–562. <https://doi.org/10.1177/0363546521998081>
- Baars, B. J., & Gage, N. M. (2010). Consciousness and attention. In *Cognition, Brain, and Consciousness* (2nd ed., pp. 238–303). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375070-9.00008-5>
- Baert, I. A. C., Lluch, E., Struyf, T., Peeters, G., Van Oosterwijck, S., Tuynman, J., Rufai, S., & Struyf, F. (2018). Inter- and intrarater reliability of two proprioception tests using clinical applicable measurement tools in subjects with and without knee osteoarthritis. *Musculoskeletal Science and Practice, 35*, 105–109. <https://doi.org/10.1016/j.msksp.2017.11.011>
- Bellizzi, G. L., Will-Lemos, T., Resende, R. A., Cervi, A. C. C., Santiago, P. R. P., Fernández-de-las-Peñas, C., Bevilaqua-Grossi, D., & Florencio, L. L. (2022). Knee kinetics and kinematics of young asymptomatic participants during single-leg weight-bearing tasks: Task and sex comparison of a cross-sectional study. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 19*(9). <https://doi.org/10.3390/ijerph19095590>

- Beunen, G. P., Malina, R. M., Lefevre, J., Claessens, A. L., Renson, R., & Simons, J. (1997). Prediction of adult stature and noninvasive assessment of biological maturation. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *29*, 225–230. <https://doi.org/10.1097/00005768-199702000-00010>
- Beunen, G. P., Rogol, A. D., & Malina, R. M. (2006). Indicators of biological maturation and secular changes in biological maturation. *Food and Nutrition Bulletin*, *27*(4), 244–256. <https://doi.org/10.1177/156482650602745508>
- Blajwajs, L., Williams, J., Timmons, W., & Sproule, J. (2023). Hypermobility prevalence, measurements, and outcomes in childhood, adolescence, and emerging adulthood: a systematic review. *Rheumatology International*, *43*(8), 1423–1444. <https://doi.org/10.1007/s00296-023-05338-x>
- Bockhorn, L. N., Vera, A. M., Dong, D., Delgado, D. A., Varner, K. E., & Harris, J. D. (2021). Interrater and intrarater reliability of the Beighton score: A systematic review. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, *9*(1). <https://doi.org/10.1177/2325967120968099>
- Bucsuházy, K., & Semela, M. (2017). Case study: Reaction time of children according to age. *Procedia Engineering*, *187*, 408–413. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.393>
- Burton, A. M., Cowburn, I., Thompson, F., Eisenmann, J. C., Nicholson, B., & Till, K. (2023). Associations between motor competence and physical activity, physical fitness and psychosocial characteristics in adolescents: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, *53*(11), 2191–2256. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01886-1>
- Campos, C. G., Carlos, F. M., Muniz, L. A., Bila, W. C., Damasceno, V. O., Romano, M. Ch. C., & Lamounier, J. A. (2021). Atividade física na adolescência e maturidade sexual: uma revisão sistemática. *Ciência & Saúde Coletiva*, *26*(5), 1823–1832. <https://doi.org/10.1590/1413-81232021265.17622019>
- Cericato, G. O., Bittencourt, M. A. V., & Paranhos, L. R. (2015). Validity of the assessment method of skeletal maturation by cervical vertebrae: A systematic review and meta-analysis. *Dentomaxillofacial Radiology*, *44*. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20140270>
- Ciccia, A. H., Meulenbroek, P., & Turkstra, L. S. (2009). Adolescent brain and cognitive developments. *Topics in Language Disorders*, *29*(3), 249–265. <https://doi.org/10.1097/TLD.0b013e3181b53211>
- Clark, N. C., Akins, J. S., Heebner, N. R., Sell, T. C., Abt, J. P., Lovalekar, M., & Lephart, S. M. (2016). Reliability and measurement precision of concentric-to-isometric and eccentric-to-isometric knee active joint position sense tests in uninjured physically active adults. *Physical Therapy in Sport*, *18*, 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2015.06.005>

- Clinch, J., Deere, K., Sayers, A., Palmer, S., Riddoch, Ch., Tobias, J. H., & Clark, E. M. (2011). Epidemiology of generalized joint laxity (hypermobility) in fourteen-year-old children from the UK: A population-based evaluation. *Arthritis & Rheumatism*, *63*(9), 2819–2827. <https://doi.org/10.1002/art.30435>
- Coelho-e-Silva, M. J., Santos, J. V., Vaz, V., Figueiredo, A. J., Peña Reyes, M. E., Malina, R. M., & Simões, F. (2010). Assessment of biological maturation in adolescent athletes: Application of different methods with soccer and hockey players. In M. J. Coelho-e-Silva, A. J. Figueiredo, M. T. Elferink-Gemser, & R. M. Malina (Eds.), *Youth sports: Growth, Maturation and Talent* (pp. 33–50). Imprensa da Universidade de Coimbra. https://doi.org/10.14195/978-989-26-0506-7_2
- Costa-e-Silva, L., Fragoso, M. I., & Teles, J. (2017). Physical activity–related injury profile in children and adolescents according to their age, maturation, and level of sports participation. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, *9*(2), 118–125. <https://doi.org/10.1177/1941738116686964>
- Culvenor, A. G., Alexander, B. C., Clark, R. A., Collins, N. J., Ageberg, E., Morris, H. G., Whitehead, T. S., & Crossley, K. M. (2016). Dynamic single-leg postural control is impaired bilaterally following anterior cruciate ligament reconstruction: Implications for reinjury risk. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, *46*(5), 357–364. <https://doi.org/10.2519/jospt.2016.6305>
- Cumming, S. P., Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Eisenmann, J. C., & Malina, R. M. (2017). Bio-banding in sport: Applications to competition, talent identification, and strength and conditioning of youth athletes. *Strength & Conditioning Journal*, *39*(2), 34–47. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000281>
- Cumming, S. P., Standage, M., Gillison, F., & Malina, R. M. (2008). Sex differences in exercise behavior during adolescence: Is biological maturation a confounding factor? *Journal of Adolescent Health*, *42*(5), 480–485. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2007.10.005>
- de Azevedo Sodré Silva, A., Sassi, L. B., Martins, T. B., de Menezes, F. S., Migliorini, F., Maffulli, N., & Okubo, R. (2023). Epidemiology of injuries in young volleyball athletes: A systematic review. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, *18*(1). <https://doi.org/10.1186/s13018-023-04224-3>
- Eriksen, B. A., & Eriksen, Ch. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, *16*(1), 143–149. <https://doi.org/10.3758/BF03203267>
- Ghaderi, M., Letafatkar, A., Almonroeder, T. G., & Keyhani, S. (2020). Neuromuscular training improves knee proprioception in athletes with a history of anterior cruciate ligament

- reconstruction: A randomized controlled trial. *Clinical Biomechanics*, 80. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2020.105157>
- Gillison, F., Cumming, S., Standage, M., Barnaby, C., & Katzmarzyk, P. (2017). Assessing the impact of adjusting for maturity in weight status classification in a cross-sectional sample of UK children. *BMJ Open*, 7. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-015769>
- Guan, Y., Bredin, S., Taunton, J., Jiang, Q., Wu, N., & Warburton, D. (2022). Association between inter-limb asymmetries in lower-limb functional performance and sport injury: A systematic review of prospective cohort studies. *Journal of Clinical Medicine*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/jcm11020360>
- Hanzlíková, I., Athens, J., & Hébert-Losier, K. (2021). Factors influencing the landing error scoring system: Systematic review with meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 24(3), 269–280. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2020.08.013>
- Hanzlíková, I., & Hébert-Losier, K. (2020). Is the Landing error scoring system reliable and valid? A systematic review. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 12(2), 181–188. <https://doi.org/10.1177/1941738119886593>
- Herman, D. C., & Barth, J. T. (2016). Drop-Jump landing varies with baseline neurocognition: Implications for anterior cruciate ligament injury risk and prevention. *The American Journal of Sports Medicine*, 44(9), 2347–2353. <https://doi.org/10.1177/0363546516657338>
- Hewett, T. E., Myer, G. D., Kiefer, A. W., & Ford, K. R. (2015). Longitudinal increases in knee abduction moments in females during adolescent growth. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(12), 2579–2585. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000700>
- Holden, S., Boreham, C., Doherty, C., Wang, D., & Delahunt, E. (2016). A longitudinal investigation into the progression of dynamic postural stability performance in adolescents. *Gait & Posture*, 48, 171–176. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.04.019>
- Hosseinzadeh, S., & Kiapour, A. M. (2020). Sex differences in anatomic features linked to anterior cruciate ligament injuries during skeletal growth and maturation. *The American Journal of Sports Medicine*, 48(9), 2205–2212. <https://doi.org/10.1177/0363546520931831>
- Kaya, D., Guney-Deniz, H., Sayaca, C., Calik, M., & Doral, M. N. (2019). Effects on lower extremity neuromuscular control exercises on knee proprioception, muscle strength, and functional level in patients with ACL reconstruction. *BioMed Research International*. <https://doi.org/10.1155/2019/1694695>
- Khamis, H. J., & Roche, A. F. (1994). Predicting adult stature without using skeletal age: The Khamis-Roche method. *Pediatrics*, 94(4), 504–507.

- Kim, S. M., Qu, F., & Lam, W. K. (2021). Analogy and explicit motor learning in dynamic balance: Posturography and performance analyses. *European Journal of Sport Science*, 21(8), 1129–1139. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1827046>
- Kolář, P. (2012). *Rehabilitace v klinické praxi*. Galén.
- Launay, F. (2015). Sports-related overuse injuries in children. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, 101(1), 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2014.06.030>
- Lehnert, M., Krejčí, J., Janura, M., & De Ste Croix, M. (2022). Age-related changes in landing mechanics in elite male youth soccer players: A longitudinal study. *Applied Sciences*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/app12115324>
- Li, Z., Zhang, W., Duan, Y., Niu, Y., Chen, Y., Liu, X., Dong, Z., Zheng, Y., Chen, X., Feng, Z., Wang, Y., Zhao, D., Sun, X., Cai, G., Jiang, H., & Chen, X. (2023). Progress in biological age research. *Frontiers in Public Health*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1074274>
- Liaghat, B., Pedersen, J. R., Young, J. J., Thorlund, J. B., Juul-Kristensen, B., & Juhl, C. B. (2021). Joint hypermobility in athletes is associated with shoulder injuries: A systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 22. <https://doi.org/10.1186/s12891-021-04249-x>
- Limroongreungrat, W., Mawhinney, Ch., Kongthongsung, S., & Pitaksathienkul, Ch. (2022). Landing error scoring system: Data from youth volleyball players. *Data in Brief*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.107916>
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Myer, G. D., & De Ste Croix, M. B. A. (2014). Chronological age vs. biological maturation: Implications for exercise programming in youth. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(5), 1454–1464. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000391>
- Lopez-Valenciano, A., Ayala, F., De Ste Croix, M. B. A., Barbado, D., Moreno-Perez, V., Sanz-Rivas, D., & Fernandez-Fernandez, J. (2023). The association between chronological age and maturity status on lower body clinical measurements and asymmetries in elite youth tennis players. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 15(2), 250–259. <https://doi.org/10.1177/19417381221083319>
- Ludwig, O., Kelm, J., Hammes, A., Schmitt, E., & Fröhlich, M. (2020). Neuromuscular performance of balance and posture control in childhood and adolescence. *Heliyon*, 6(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04541>
- Malina, R. M. (2011). Skeletal age and age verification in youth sport. *Sports Medicine*, 41(11), 925–947. <https://doi.org/10.2165/11590300-000000000-00000>

- Malina, R. M., Coelho-e-Silva, M. J., Figueiredo, A. J., Carling, Ch., & Beunen, G. P. (2012). Interrelationships among invasive and non-invasive indicators of biological maturation in adolescent male soccer players. *Journal of Sports Sciences*, *30*(15), 1705–1717. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.639382>
- Malina, R. M., Cumming, S. P., Rogol, A. D., Coelho-e-Silva, M. J., Figueiredo, A. J., Konarski, J. M., & Kozieł, S. M. (2019). Bio-banding in youth sports: Background, concept, and application. *Sports Medicine*, *49*, 1671–1685. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01166-x>
- Malina, R. M., Dompier, T. P., Powell, J. W., Barron, M. J., & Moore, M. T. (2007). Validation of a noninvasive maturity estimate relative to skeletal age in youth football players. *Clinical Journal of Sport Medicine*, *17*(5), 362–368. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e31815400f4>
- Malina, R. M., Martinho, D. V., Valente-dos-Santos, J., Coelho-e-Silva, M. J., & Kozieł, S. M. (2021). Growth and maturity status of female soccer players: A narrative review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(4). <https://doi.org/10.3390/ijerph18041448>
- Malina, R. M., Rogol, A. D., Cumming, S. P., Coelho-e-Silva, M. J., & Figueiredo, A. J. (2015). Biological maturation of youth athletes: Assessment and implications. *British Journal of Sports Medicine*, *49*(13), 852–859. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094623>
- Maricot, A., Lathouwers, E., Verschueren, J., De Pauw, K., Meeusen, R., Roelands, B., & Tassignon, B. (2024). Test-retest, intra- and inter-rater reliability of the reactive balance test in patients with chronic ankle instability. *Frontiers in Neurology*, *15*. <https://doi.org/10.3389/fneur.2024.1320043>
- Marshall, W. A., & Tanner, J. M. (1969). Variations in pattern of pubertal changes in girls. *Archives of Disease in Childhood*, *44*(235), 291–303. <https://doi.org/10.1136/adc.44.235.291>
- Martín Pérez, S. E., Martín Pérez, I. M., Vega González, J. M., Molina Suárez, R., León Hernández, C., Rodríguez Hernández, F., & Herrera Perez, M. (2023). Precision and accuracy of radiological bone age assessment in children among different ethnic groups: A systematic review. *Diagnostics*, *13*. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13193124>
- Mason, J., Kniewasser, Ch., Hollander, K., & Zech, A. (2022). Intrinsic risk factors for ankle sprain differ between male and female athletes: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine - Open*, *8*(1). <https://doi.org/10.1186/s40798-022-00530-y>
- McGuine, T. A., Post, E. G., Biese, K. M., Kliethermes, S., Bell, D. R., Watson, A. M., Brooks, A., & Lang, P. J. (2023). Incidence and risk factors for injuries in girls' high school volleyball:

- A study of 2072 players. *Journal of Athletic Training*, 58(2), 177–184.
<https://doi.org/10.4085/182-20>
- Micheli, L. J., & Klein, J. D. (1991). Sports injuries in children and adolescents. *British Journal of Sports Medicine*, 25(1), 6–9. <https://doi.org/10.1136/bjism.25.1.6>
- Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D. G., Bailey, D. A., & Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(4), 689–694. <https://doi.org/10.1097/00005768-200204000-00020>
- Mohd Azhar, N., Affandi, N. F., Mail, M. S. Z., & Shaharudin, S. (2019). The effects of foot position on lower extremity kinematics during single leg squat among adolescent male athletes. *Journal of Taibah University Medical Sciences*, 14(4), 343–349. <https://doi.org/10.1016/j.jtumed.2019.06.007>
- Myer, G. D., Ford, K. R., McLean, S. G., & Hewett, T. E. (2006). The effects of plyometric versus dynamic stabilization and balance training on lower extremity biomechanics. *The American Journal of Sports Medicine*, 34(3), 445–455. <https://doi.org/10.1177/0363546505281241>
- Myer, G. D., Sugimoto, D., Thomas, S., & Hewett, T. E. (2013). The influence of age on the effectiveness of neuromuscular training to reduce anterior cruciate ligament injury in female athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 41(1), 203–215. <https://doi.org/10.1177/0363546512460637>
- Nebigh, A., Hammami, R., Kasmi, S., Rebai, H., Drury, B., Chtara, M., & van den Tillaar, R. (2022). The influence of maturity status on dynamic balance following 6 weeks of eccentric hamstring training in youth male handball players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(15). <https://doi.org/10.3390/ijerph19159775>
- Oeri, N., Buttellmann, D., Voelke, A. E., & Roebbers, C. M. (2019). Feedback enhances preschoolers' performance in an inhibitory control task. *Frontiers in Psychology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00977>
- Olivares, L. A. F., De León, L. G., & Frago, M. I. (2020). Skeletal age prediction model from percentage of adult height in children and adolescents. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72835-5>
- Ording Muller, L. S., Adolfsson, J., Forsberg, L., Bring, J., Dahlgren, J., Domeij, H., Gornitzki, C., Wernersson, E., & Odeberg, J. (2023). Magnetic resonance imaging of the knee for chronological age estimation—A systematic review. *European Radiology*, 33, 5258–5268. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-09546-8>
- Padua, D. A., DiStefano, L. J., Beutler, A. I., de la Motte, S. J., DiStefano, M. J., & Marshall, S. W. (2015). The landing error scoring system as a screening tool for an anterior cruciate

- ligament injury–prevention program in elite-youth soccer athletes. *Journal of Athletic Training*, 50(6), 589–595. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-50.1.10>
- Padua, D. A., Marshall, S. W., Boling, M. C., Thigpen, Ch. A., Garrett, W. E., & Beutler, A. I. (2009). The Landing error scoring system (LESS) is a valid and reliable clinical assessment tool of jump-landing biomechanics. *The American Journal of Sports Medicine*, 37(10), 1996–2002. <https://doi.org/10.1177/0363546509343200>
- Paszkevicz, J. R., McCarty, C. W., & Van Lunen, B. L. (2013). Comparison of functional and static evaluation tools among adolescent athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(10), 2842–2850. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182815770>
- Pinto, V. C. M., Santos, P. G. M. D., Dantas, M. P., Freitas Araújo, J. P., Aepjo Tinoco Cabral, S., & Cabral, B. G. D. A. T. (2017). Relationship between bone age, hormonal markers and physical capacity in adolescents. *Journal of Human Growth and Development*, 27(1), 77–83. <https://doi.org/10.7322/jhgd.127658>
- Powden, C. J., Dodds, T. K., & Gabriel, E. H. (2019). The reliability of the star excursion balance test and lower quarter Y-balance test in healthy adults: A systematic review. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 14(5), 683–694. <https://doi.org/10.26603/ijsp20190683>
- Pringle, R. G., McNair, P., & Stanley, S. (1998). Incidence of sporting injury in New Zealand youths aged 6-15 years. *British Journal of Sports Medicine*, 32, 49–52. <https://doi.org/10.1136/bjms.32.1.49>
- Przybyla, A., Good, D. C., & Sainburg, R. L. (2012). Dynamic dominance varies with handedness: reduced interlimb asymmetries in left-handers. *Experimental Brain Research*, 216(3), 419–431. <https://doi.org/10.1007/s00221-011-2946-y>
- Quatman, C. E., Ford, K. R., Myer, G. D., Paterno, M. V., & Hewett, T. E. (2008). The effects of gender and pubertal status on generalized joint laxity in young athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11(3), 257–263. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.05.005>
- Quatman-Yates, C. C., Quatman, C. E., Meszaros, A. J., Paterno, M. V., & Hewett, T. E. (2012). A systematic review of sensorimotor function during adolescence: A developmental stage of increased motor awkwardness? *British Journal of Sports Medicine*, 46(9), 649–655. <https://doi.org/10.1136/bjms.2010.079616>
- Reeser, J. C., Gregory, A., Berg, R. L., & Comstock, R. D. (2015). A comparison of women's collegiate and girls' high school volleyball injury data collected prospectively over a 4-year period. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 7(6), 504–510. <https://doi.org/10.1177/1941738115600143>

- Romero-Franco, N., Romero-Franco, J., & Jiménez-Reyes, P. (2019). Jogging and practical-duration foam-rolling exercises and range of motion, proprioception, and vertical jump in athletes. *Journal of Athletic Training, 54*(11), 1171–1178. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-474-18>
- Root, H., Trojian, T., Martinez, J., Kraemer, W., & DiStefano, L. J. (2015). Landing technique and performance in youth athletes after a single injury-prevention program session. *Journal of Athletic Training, 50*(11), 1149–1157. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-50.11.01>
- Ruf, L., Cumming, S., Härtel, S., Hecksteden, A., Drust, B., & Meyer, T. (2021). Construct validity of percentage of predicted adult height and BAUS skeletal age to assess biological maturity in academy soccer. *Annals of Human Biology, 48*(2), 101–109. <https://doi.org/10.1080/03014460.2021.1913224>
- Sanjay, P., Bagalkoti, P. S., & Kubasadgoudar, R. (2013). Study of correlation between hypermobility and body mass index in children aged 6-12 years. *Indian Journal of Physiotherapy & Occupational Therapy, 7*(1), 247–249.
- Schober, P., Boer, Ch., & Schwarte, L. A. (2018). Correlation coefficients: Appropriate use and interpretation. *Anesthesia & Analgesia, 126*(5), 1763–1768. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864>
- Sherar, L. B., Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D. G., & Thomis, M. (2005). Prediction of adult height using maturity-based cumulative height velocity curves. *The Journal of Pediatrics, 147*(4), 508–514. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2005.04.041>
- Singh, H., McKay, M., Baldwin, J., Nicholson, L., Chan, C., Burns, J., & Hiller, C. E. (2017). Beighton scores and cut-offs across the lifespan: Cross-sectional study of an Australian population. *Rheumatology, 56*(11), 1857–1864. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/kex043>
- Smith, R., Damodaran, A. K., Swaminathan, S., Campbell, R., & Barnsley, L. (2005). Hypermobility and sports injuries in junior netball players. *British Journal of Sports Medicine, 39*(9), 628–631. <https://doi.org/10.1136/bjism.2004.015271>
- Smits-Engelsman, B., Klerks, M., & Kirby, A. (2011). Beighton Score: A valid measure for generalized hypermobility in children. *The Journal of Pediatrics, 158*(1). <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2010.07.021>
- Sobhani-Eraghi, A., Motalebi, M., Sarreshtehdari, S., Molazem-Sanandaji, B., & Hasanlu, Z. (2020). Prevalence of joint hypermobility in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Research in Medical Sciences, 25*. https://doi.org/10.4103/jrms.JRMS_983_19

- Sonesson, S., Hägglund, M., Kvist, J., Torvaldsson, K., Lindblom, H., & Fältström, A. (2022). Neuromuscular control and hop performance in youth and adult male and female football players. *Physical Therapy in Sport*, 55, 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2022.04.004>
- Strong, A., Arumugam, A., Tengman, E., Röijezon, U., & Häger, Ch. K. (2021). Properties of knee joint position sense tests for anterior cruciate ligament injury: A systematic review and meta-analysis. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 9(8). <https://doi.org/10.1177/23259671211007878>
- Sullivan, J., Roberts, S. J., Mckeown, J., Littlewood, M., McLaren-Towilson, Ch., Andrew, M., & Enright, K. (2023). Methods to predict the timing and status of biological maturation in male adolescent soccer players: A narrative systematic review. *PLOS One*, 18(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286768>
- Sundemo, D., Hamrin Senorski, E., Karlsson, L., Horvath, A., Juul-Kristensen, B., Karlsson, J., Ayeni, O. R., & Samuelsson, K. (2019). Generalised joint hypermobility increases ACL injury risk and is associated with inferior outcome after ACL reconstruction: A systematic review. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 5. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2019-000620>
- Taketomi, S., Kawaguchi, K., Mizutani, Y., Takei, S., Yamagami, R., Kono, K., Murakami, R., Kage, T., Arakawa, T., Fujiwara, S., Tanaka, S., & Ogata, T. (2024). Factors associated with a lateral ankle sprain in young female soccer players: A prospective cohort study. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 12(2). <https://doi.org/10.1177/23259671231221481>
- Tapajcikova, T., Líška, D., Batalik, L., Tucker, C. P., & Kobesova, A. (2022). Levels of gnostic functions in top karate athletes: A pilot study. *Motor Control*, 26(2), 258–277. <https://doi.org/10.1123/mc.2021-0127>
- Thompson, L., Badache, M., Cale, S., Behera, L., & Zhang, N. (2017). Balance performance as observed by center-of-pressure parameter characteristics in male soccer athletes and non-athletes. *Sports*, 5(4). <https://doi.org/10.3390/sports5040086>
- Tobias, J. H., Deere, K., Palmer, S., Clark, E. M., & Clinch, J. (2013). Joint hypermobility is a risk factor for musculoskeletal pain during Adolescence: Findings of a prospective cohort study. *Arthritis & Rheumatism*, 65(4), 1107–1115. <https://doi.org/10.1002/art.37836>
- Toselli, S., Benedetti, L., Di Miceli, R., Aiello, P., & Nanni, G. (2021). Injury risk and maturity status in Italian elite young football player. *Muscle Ligaments and Tendons Journal*, 11(3), 592–599. <https://doi.org/10.32098/mltj.03.2021.25>
- Towilson, Ch., Salter, J., Ade, J. D., Enright, K., Harper, L. D., Page, R. M., & Malone, J. J. (2021). Maturity-associated considerations for training load, injury risk, and physical performance

- in youth soccer: One size does not fit all. *Journal of Sport and Health Science*, 10(4), 403–412. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.09.003>
- Ulman, S., Erdman, A., Loewen, A., Dressing, M., Wyatt, Ch., Oliver, G., Butler, L., Sugimoto, D., Black, A. M., & Janosky, J. (2022). Concurrent validity of movement screening criteria designed to identify injury risk factors in adolescent female volleyball players. *Frontiers in Sports and Active Living*, 4. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.915230>
- Van der Sluis, A., Elferink-Gemser, M. T., Coelho-e-Silva, M. J., Nijboer, J. A., Brink, M. S., & Visscher, C. (2013). Sport injuries aligned to peak height velocity in talented pubertal soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 35(04), 351–355. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1349874>
- Van Hooren, B., & De Ste Croix, M. (2020). Sensitive periods to train general motor abilities in children and adolescents: Do they exist? A critical appraisal. *Strength & Conditioning Journal*, 42(6), 7–14. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000545>
- Walker, J. M., Brunst, C. L., Chaput, M., Wohl, T. R., & Grooms, D. R. (2021). Integrating neurocognitive challenges into injury prevention training: A clinical commentary. *Physical Therapy in Sport*, 51, 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2021.05.005>
- Way, R., Trono, C., Mitchell, D., Laing, T., Vahi, M., Meadows, C., & Lau, A. (2016). *Long-term athlete development 2.1*.
- Westbrook, A. E., Taylor, J. B., Nguyen, A.-D., Paterno, M. V., & Ford, K. R. (2020). Effects of maturation on knee biomechanics during cutting and landing in young female soccer players. *PLOS ONE*, 15(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233701>
- Wilczyński, B., Radziński, Ł., Sobierajska-Rek, A., de Tillier, K., Bracha, J., & Zorena, K. (2022). Biological maturation predicts dynamic balance and lower limb power in young football players. *Biology*, 11. <https://doi.org/10.3390/biology11081167>
- Williams, M. D., Ramirez-Campillo, R., Chaabene, H., & Moran, J. (2021). Neuromuscular training and motor control in youth athletes: A meta-analysis. *Perceptual and Motor Skills*, 128(5), 1975–1997. <https://doi.org/10.1177/00315125211029006>
- Winter, L., Huang, Q., Sertic, J. V. L., & Konczak, J. (2022). The effectiveness of proprioceptive training for improving motor performance and motor dysfunction: A systematic review. *Frontiers in Rehabilitation Sciences*, 3. <https://doi.org/10.3389/fresc.2022.830166>
- Wong, T. K. K., Ma, A. W. W., Liu, K. P. Y., Chung, L. M. Y., Bae, Y. H., Fong, S. S. M., Ganesan, B., & Wang, H. K. (2019). Balance control, agility, eye–hand coordination, and sport performance of amateur badminton players: A cross-sectional study. *Medicine*, 98(2). <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000014134>

11 SEZNAM ZKRATEK

BF	body fat (tělesný tuk)
BMI	body mass index
CI	confidence interval (konfidenční interval)
DDK	dominantní dolní končetina
DK	dolní končetina
DVJ	drop vertical jump (vertikální skok s odrazem)
EPUB	early-pubertal (časně pubertální)
IC	inicial contact (počáteční kontakt)
ICC	intraclass correlation coefficient (vnitrotřídní korelační koeficient)
ID	identification (identifikační číslo)
IQR	interquartile range (mezikvartilové rozpětí)
LCA	ligamentum cruciatum anterior
LESS	Landing Error Scoring System
LHK	levá horní končetina
LPUB	late-pubertal (pozdně pubertální)
MPUB	mid-pubertal (středně pubertální)
MRI	magnetic resonance imaging (magnetická rezonance)
NDK	nedominantní dolní končetina
PAH	predicted adult height (předpokládaná výška v dospělosti)
%PAH	percentage of predicted adult height (procento z předpokládané výšky v dospělosti)
PHK	pravá horní končetina
PHV	peak height velocity (vrchol růstového tempa)
POST	post-pubertal (post pubertální)
PRE	prepubertal (prepubertální)
PUB	pubertal (pubertální)
RT	reaction time (reakční čas)
SD	směrodatná odchylka
VO ₂	spotřeba kyslíku
VO _{2max}	maximální spotřeba kyslíku

12 PŘÍLOHY

12.1 Vyjádření etické komise



Fakulta
tělesné kultury

Vyjádření Etické komise FTK UP

Složení komise: doc. PhDr. Dana Štěrbová, Ph.D. – předsedkyně
Mgr. Ondřej Ješina, Ph.D.
Mgr. Michal Kudláček, Ph.D.
Mgr. Filip Neuls, Ph.D.
prof. Mgr. Erik Sigmund, Ph. D.
doc. Mgr. Zdeněk Svoboda, Ph. D.
Mgr. Jarmila Štěpánová, Ph.D.

Na základě žádosti ze dne **10. 03. 2023** byl projekt aplikovaného výzkumu

Autor /hlavní řešitel/: **Mgr. Ivana Hanzlíková, Ph.D.**

Spoluřešitelé: **prof. PaedDr. Michal Lehnert, Dr., MSc. Richard Sylveste**

s názvem **Porovnání efektu rychlostního a plyometrického tréninku na sportovní výkonnost a rizikové faktory poranění dolních končetin u dívek 7–15 let**

schválen Etickou komisí FTK UP pod jednacím číslem: **15 / 2023**
dne: **24. 3. 2023**

Etická komise FTK UP zhodnotila předložený projekt a **neshledala žádné rozpory** s platnými zásadami, předpisy a mezinárodními směrnici pro výzkum zahrnující lidské účastníky.

Řešitelé projektu splnili podmínky nutné k získání souhlasu etické komise.

Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta tělesné kultury
Komise etická
třída Míru 117 | 771 11 Olomouc

za EK FTK UP
doc. PhDr. Dana Štěrbová, Ph.D.
předsedkyně

Fakulta tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci
třída Míru 117 | 771 11 Olomouc | T: +420 585 636 009
www.ftk.upol.cz

12.2 Vzor informovaného souhlasu



Fakulta
tělesné kultury

Informovaný souhlas

Název studie: Porovnání efektu rychlostního a plyometrického tréninku na sportovní výkonnost a rizikové faktory poranění dolních končetin u dívek 7–15 let

Jméno účastníka:

Datum narození:

Účastník byl do studie zařazen pod číslem:

1. Já, níže podepsaný(á) souhlasím s účastí mého dítěte ve studii.
2. Byl(a) jsem podrobně informován(a) o cíli studie, o jejích postupech, a o tom, co se od mého dítěte očekává. Beru na vědomí, že prováděná studie je výzkumnou činností.
3. Porozuměl(a) jsem tomu, že účast mého dítěte ve studii může být kdykoliv přerušena, případně může odstoupit. Účast mého dítěte ve studii je dobrovolná.
4. Při zařazení do studie budou osobní data dítěte uchována s plnou ochranou důvěrnosti dle platných zákonů ČR. Je zaručena ochrana důvěrnosti osobních dat. Při vlastním provádění studie mohou být osobní údaje poskytnuty jiným než výše uvedeným subjektům pouze bez identifikačních údajů, tzn. anonymní data pod číselným kódem. Rovněž pro výzkumné a vědecké účely mohou být osobní údaje dítěte poskytnuty pouze bez identifikačních údajů (anonymní data) nebo s mým výslovným souhlasem.
5. Souhlasím s tím, že při měření bude pořízen videozáznam. Beru na vědomí, že videozáznamy budou uchovávány v souboru v soukromém zaheslovaném počítači a že přístup k nim bude mít pouze řešitelé výzkumného projektu. Při prezentaci dat na veřejnosti bude obličej probanda skryt, tedy nebude možné jej identifikovat.
6. Porozuměl jsem tomu, že jméno mého dítěte se nebude nikdy vyskytovat v referátech o této studii. Já naopak nebudu proti použití výsledků z této studie.

Podpis zákonného zástupce účastníka:

Podpis výzkumníka:

Datum:

Datum