

Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta tělesné kultury

VLIV VĚKU NA NERVOSVALOVOU KOORDINACI KOLENNÍHO KLOUBU U HÁZENKÁŘEK

Diplomová práce

(bakalářská)

Autor: Vilém Riedel, tělesná výchova – přírodopis se zaměřením na vzdělávání

Vedoucí práce: Mgr. Zdeněk Svoboda Ph.D.

Olomouc 2020

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Vilém Riedel

Název bakalářské práce: Vliv věku na nervosvalovou koordinaci kolenního kloubu u házenkářek

Pracoviště: Katedra přírodních věd v kinantropologii

Vedoucí: Mgr. Zdeněk Svoboda Ph.D.

Rok obhajoby: 2020

Abstrakt: Předkládaná bakalářská práce se zabývá vztahem věku a nervosvalové koordinace kolenního kloubu u házenkářek kategorie U14 a U16. Výzkumný soubor se skládal z 16 házenkářek kategorie U14 a 11 házenkářek kategorie U16. Úroveň nervosvalové koordinace hráček byla určena na základě tuhosti dolních končetin a reaktivního indexu síly. Data byla naměřena u obou kategorií v rozmezí jednoho roku prostřednictvím opakovaných vertikálních výskoků měřených pomocí kontaktního koberce (Fitronic, Bratislava, Slovensko) a silové plošiny (Pasco, Roseville, CA, USA). Významné rozdíly mezi sledovanými obdobími jsme zjistili zejména u kategorie U16 v tuhosti dolní končetiny a relativní tuhosti dolní končetiny. U obou sledovaných proměnných došlo po roce k poklesu. Tyto snížené hodnoty poukazují na zhoršení nervosvalové koordinace a zvyšují riziko poranění kolenního kloubu.

Klíčová slova: Nervosvalová koordinace, kolenní kloub, tuhost dolní končetiny, reaktivní index síly, ACL, házená, věk

Souhlasím s půjčováním diplomové práce v rámci knihovních služeb.

Bibliographical Identification

Author's first name and surname: Vilém Riedel

Title of the bachelor thesis: Effect of age on neuromuscular coordination of a knee joint in female handball players

Department: Department of Natural Sciences in Kinanthropology

Supervisor: Mgr. Zdeněk Svoboda Ph.D.

The year of presentation: 2020

Abstract: The submitted bachelor thesis deals with the relationship between age and neuromuscular control in female handball players of category U14 and U16. The observed group consisted of 16 players of category U14 and 11 players of category U16. Level of neuromuscular control of female players was determined by leg stiffness and reactive strength index. Data in both categories were collected by repeated vertical jumps measured by contact pad (Fitronic, Bratislava, Slovakia) and force platform (Pasco, Roseville, CA, USA). Significant differences between observed periods we have found mainly in category U16 in leg stiffness (LS) and relative leg stiffness (RelLS). Value of LS and RelLS decreases during observed period after year. These findings show deterioration of neuromuscular coordination and increased risk of knee injury.

Keywords: Neuromuscular coordination, knee, leg stiffness, reactive strength index, ACL, handball, age

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

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně pod vedením Mgr. Zdeňka Svobody Ph.D., uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržel zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 12. května 2020

.....

Vilém Riedel

Diplomová práce vznikla za podpory projektu grantové agentury České republiky č. GA16-13750S s názvem „Kumulativní efekt únavy na neuromuskulární řízení kolene a riziko zranění u mladých sportovců během růstu a zrání.“

Mé poděkování patří především panu Mgr. Zdeňku Svobodovi Ph.D. za cenné rady, odborné vedení a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnoval.

Obsah

1	Úvod	8
2	Přehled poznatků	9
2.1	Zranění v házené	9
2.2	Anatomie a kineziologie kolenního kloubu	10
2.3	Fyziologie dívek staršího školního věku	11
2.3.1	Růst a zrání	11
2.3.2	Tkáňové charakteristiky	12
2.3.3	Charakteristické rysy dívek staršího školního věku	14
2.4	Rizikové faktory poranění kolenního kloubu	15
2.4.1	Únava	16
2.4.2	Q úhel a valgózní úhel	17
2.4.3	Kongruence mezi kloubními plochami femuru a tibie	17
2.4.4	Oslabený střed těla	19
2.5	Nervosvalová koordinace	19
2.5.1	Propriorecepce	22
2.6	Nástroje pro hodnocení neuromuskulární koordinace a rizika zranění	23
2.6.1	Tuhost dolní končetiny (Leg stiffness; LS)	23
2.6.2	Reaktivní index síly (Reactive strength index; RSI)	24
3	Cíle a hypotézy	26
3.1	Cíl práce	26
3.2	Dílčí cíle	26
3.3	Hypotézy	26
4	Metodika	27
5	Výsledky	29
6	Diskuze	32
7	Závěry	35

8	Souhrn	36
9	Summary	37
10	Referenční seznam	38

1 Úvod

Házená je týmový sport představující vysoké riziko zranění kvůli prvkům jako je častý kontakt s protihráčem, ale hlavně rychlá změna směru a rychlá změna pohybu. Nejčastějším vážným zraněním, které má za následek dočasné, někdy i trvalé zanechání soutěžení je poranění kolenního kloubu.

Na stabilitě kolenního kloubu se podílí mnoho faktorů, do kterých patří jak samotná anatomie dolní končetiny a kolenního kloubu, tak i vlastnosti a schopnosti svalů. Neuromuskulární koordinace je jedním z dominantních faktorů, které se podílejí na stabilitě kolenního kloubu a jsme schopni ji rozvíjet, měřit a hodnotit její úroveň. Předpokládá se, její úroveň má velký vliv na snížení rizika kolenního kloubu, které je v házené charakteristické tím, že ve většině případů nastává bezkontaktně při dopadu, změně směru, nebo pohybu.

Zranění kolenního kloubu je také vázáno na pohlaví v tom smyslu, že ženy mají mnohem vyšší riziko poranění kolenního kloubu než muži. U žen je riziko zranění více než čtyřnásobné. Proto je vhodné se zaměřit právě na rizikové faktory zranění kolenního kloubu u žen. Zejména u mladších kategorií, u kterých zranění často může znamenat ukončení sportovní kariéry a negativní postoj ke sportu.

Znalost a monitorování rizikových faktorů zranění kolenního kloubu u mladších sportovkyň nám může pomoci v rozvíjení potřebných predispozic pro snížení rizika zranění již od útlého věku. Může nám pomoci k vytvoření vhodných tréninkových plánů a poukázat na rizikové období v růstu a vývoji mladých sportovkyň.

2 Přehled poznatků

2.1 Zranění v házené

Házená je velmi populárním kolektivním sportem v Evropě. Požadavky a specifika tohoto sportu, zejména častý a intenzivní kontakt s protihráčem, často vedou ke zranění. Většina zraněných hráčů vynechá více než týden aktivní házené, avšak musí kvůli vážnému zranění dokonce ukončit sportovní kariéru (Tsigilis & Hatzimanouil, 2005). Epidemiologická studie autorů Rosa et al., (2014) zkoumala výskyt zranění napříč různými sporty v průběhu deseti let ukazuje na vzorku 585 sportovců, že 49,91 % utrpělo zranění. Z toho 49,1 % muži a 50,9 % ženy, což ukazuje na podobnost výskytu mezi pohlavími. Zaměříme-li se na zranění kolenního kloubu, tak se nejčastěji jedná o poškození předního zkříženého vazy (ACL). V ženské házené pozorujeme 3,47 krát častější zranění ACL, než v házené mužské. Vyšší četnost zranění kolenního kloubu u žen oproti mužům potvrzuje taktéž Hutchinson a Ireland (1995). Novější studie, která lépe reflektuje současný sport, se Petushek, Sugimoto, Stoolmiller, Smith, a Myer (2019) taktéž shodují s předchozími autory a tvrdí, že četnost zranění kolenního kloubu u žen je zhruba 3 krát větší než u mužů.

Rozdíl četnosti zranění můžeme pozorovat v kontrastu tréninků a zápasů. Šestnáctiletá studie poukazuje na míru zranění v zápasech, které čítá 13,8 zranění na 1000 odehraných hodin. Oproti tomu během tréninků se dostáváme na výrazně nižší čísla a to 4,0 zranění na 1000 hodin (Hootman, Dick, & Agel, 2007).

Specifikem zranění kolenního kloubu v házené je, že k němu dochází většinou bez kontaktu s jiným hráčem. Nejčastěji se jedná o dopad po výskoku, pohyby s velkou změnu rychlosti, nebo pohyby, či vytáčení osy těla na stojné noze. Četnost zranění kolenního kloubu bezkontaktně se blíží k 85 %, zatímco pouze 15 % zranění je způsobeno při kontaktu s jiným hráčem (Oshima et al., 2018). Podle norské studie prováděné na 3392 hráčích a hráčkách dochází ke zranění kolenního kloubu bez kontaktu s protihráčem až v 95 % případů. K 75 % zranění došlo v průběhu zápasu a pouze k 25 % zranění došlo během tréninků. Zároveň studie ukázala, že typ povrchu nemá na zranění významný vliv (Myklebust et al., 2003).

2.2 Anatomie a kineziologie kolenního kloubu

Spojení femuru, tibie a pately spolu s kloubními menisky tvoří nejsložitější složený kloub v lidském těle. Funkci kloubní hlavice femuru zastávají condyli femoris. Facies articularis superior kondylů tibie, její dvě kloubní plochy a menisky fungují jako kloubní jamky. Facies articularis patellae se dvěma fasetami a facies patellaris femoris jsou další styčné plochy kostí kolenního kloubu (Čihák, 2011). Komplex kolenního kloubu můžeme rozdělit na dvě kloubní části patellofemorální a tibiofemorální kloub. Tibiofemorální je tvořen spojením mezi proximální tibí a distálním femurem. Patellofemorální kloub je tvořen spojením patelly a přední plochy femuru. Za stabilitu tibiofemorálního kloubu je zodpovědný statický a dynamický stabilizační systém (Hughes & Watkins, 2006).

Pohyb v kolenním kloubu podle Čiháka (2011) při přechodu z flexe do extenze a zpět zahrnuje počáteční rotaci, valivý pohyb a posuvný pohyb. Během počáteční rotace se koleno přesouvá do flexe zhruba o pouhých 5° čímž ale přechází z uzamknutého kolena do tzv. odemknutého kolena. Tibie se točí dovnitř. Osa rotace jde z hlavice femuru do středu laterálního kondylu. Laterální kondyl se otáčí, zatím co mediální kondyl se posouvá. Následuje valivý pohyb, kdy femur valící se po plochách tvořených tibí a menisky uskutečňuje flexi. Flexe je dokončena posuvným pohybem v kloubu meniskotibiálním, kde menisky mění kolem femuru svůj tvar a spolu s kondylou se posouvají po tibii dozadu. Při extenzi se jedná o stejný děj, jen v opačném pořadí. Hughes a Watkins (2006) zdůrazňují, že právě hyperextenze, což znamená, že kolenní kloub při extenzi přesahuje normální rozsah pohybu, představuje vážné riziko poranění ACL a dalších struktur v kolenním kloubu (McCaughan et al., 2019).

Dynamický systém, tedy systém, který se aktivně podílí na stabilizaci kolenního kloubu zprostředkovávají svaly, které vedou přes kolenní kloub. Jedná se zejména o musculus quadriceps femoris, který umožňuje extenzi kolenního kloubu, skupina ischiokrurálních svalů biceps femoris, semitendinosus a semimembranosus. Tato skupina svalů umožňuje flexi kolenního kloubu, které napomáhá také musculus triceps surae. Dynamický systém se aktivně podílí na stabilitě kolenního kloubu kontraktilními schopnostmi svalů (Hughes & Watkins, 2006).

Statický stabilizační systém zabezpečují nekontraktilní složky kolenního kloubu. Jedná se o kloubní jamku, laterální a mediální meniskus, laterální ligamenta, mediální ligamenta, ACL a zadní zkřížený vaz (PCL). Funkcí zkřížených vazů je umožnit normální pohyb v kloubním spojení femuru a tibie. Kolenní kloub v plné extenzi představuje nejvyšší riziko pro nekontaktní zranění kolenního kloubu. Právě ACL v součinnosti s hamstringy, tedy dynamickým systémem, pomáhá předcházet přední dislokaci kolene, tím že brzdí pohyb tibie po kloubních plochách vpřed. Stejně tak PCL v součinnosti s quadricípsem předchází zranění omezováním pohybu tibie po kloubních

plochách vzd. Pokud se koleno nachází v ostřejších úhlech flexe mění se také funkce quadricepsu, který se připojuje k hamstringům a ACL a napomáhá k zamezení pohybu tibie vpřed po kloubních plochách. To může být důvodem, proč zranění ACL není tak časté při flexi kolenního kloubu (Hughes & Watkins, 2006).

2.3 Fyziologie dívek staršího školního věku

2.3.1 Růst a zrání

Malina a Bouchard, (1991) definuje růst jako dominantní biologickou aktivitu, která probíhá v průběhu prvních dvou dekád života včetně devíti měsíců prenatálního vývoje. Definovat zrání je obtížnější než definice růstu, často je popisováno jako proces dospívání k dospělosti, které je biologicky charakteristické například plně vyvinutou pohlavní soustavou schopnou reprodukce, či plně osifikovanou kostru charakteristickou pro dospělého jedince.

Obě pohlaví vykazují během první dekády velký nárůst beztukové hmoty, později se však liší v nárůstu tukové hmoty. Obě pohlaví vykazují relativní pokles tělesného tuku mezi prvním a šestým rokem. Zatímco dívky opět začínají zvyšovat tukovou hmotnost, nárůst hmotnosti u chlapců je způsoben především beztukovou hmotou. Tyto kontrastní vzorce růstu se během dospívání dále liší, přičemž dívky získávají značné množství tuku, ale relativně málo beztukové hmoty. Tyto změny jsou primárně vedeny hormonálně (Wells, 2007).

Komplexní interakce anabolických hormonů v ženském těle umožňuje růst, mineralizaci kostí a nárůst svalové hmoty a metabolické adaptace v průběhu dětství a dospívání. Většina hormonálních drah je závislá na pohlaví. Například fyziologické účinky pohlavních steroidů testosteronu a estrogenu se výrazně liší, s důkazy, že kombinované podávání testosteronu a růstového hormonu způsobuje zvýšení koncentrací růstového faktoru IGF-I, což má za následek zvýšený anabolismus, větší zvýšení v beztukové hmoty a vyšší úroveň syntézy bílkovin u chlapců (Mauras, 2006). Langmeier, Kttinar, Marešová, & Pokorný, (2009) zmiňují také následek anabolického působení testosteronu u chlapců, díky kterému mají zvýšenou proteosyntézu, což jim dává vhodnější podklad pro svalovou hypertrofii.

Na vrcholu adolescentního růstu se u dívek může jednat o nárůst výšky postavy až 8 – 9 cm, zatímco u chlapců se jedná o nárůst výšky postavy o pouhé 3 cm v tomto období. I přes to chlapci v dospělosti dosahují vyšší výšky o 11 – 13 cm postavy díky jejich růstu v adolescenci, který dívky už nepodstupují. Od začátku do konce dospívání trvá růst postavy 4 – 4,5 roku u dívek, dokud navyšující se hladiny estrogenu nezpůsobí epifýzovou fúzi, která vede k zastavení růstu postavy. Zastavení růstu u dívek je charakteristické kolem 15 roku stáří (Malina & Bouchard, 1991).

Proporce těla jako je výška v sedu, délka dolních končetin, biacromiální a bicristální šířka

se podobají vzorci růstu postavy, avšak výška v sedu a délka nohou se mezi chlapci a děvčaty v dětství mění a mají u jednotlivých pohlaví své charakteristiky. Na začátku dospívání přichází rychlý růst dolních končetin, který předchází růstu trupu. Chlapci překonali dívky v délce nohou asi ve 12 letech a ve výšce v sedě kolem 14 let. Přesto v adolescenci je poměr výšky v sedě k postavě vyšší u dívek než u chlapců, což u dívek znamená relativně kratší dolní končetin oproti stejné výšce postavy u chlapců. Vrcholný nárůst tělesné hmoty je asi v 4 – 6 měsíčním zpoždění oproti růstu postavy. Celkový přírůstek tělesné hmoty v průběhu dospívání dívek se pohybuje okolo 16 Kg. Nejvyšší nárůst je tukové tělesné hmoty (Malina & Bouchard, 1991). Pro optimalizaci sportovního výkonu je však nezbytné zaměřit se na nárůst beztukové tělesné hmoty zejména horní poloviny těla (Zatsiorsky & Kraemer, 2014).

Vyšší hmotnost, zejména té svalové, ve vztahu k výšce postavy může v některých sportech, zaměřených například na házení, poskytnout výkonnostní výhodu. Avšak kombinovaný účinek širších boků a kratších nohou obvykle doprovázený větší hmotností na stejnou výšku postavy žen oproti chlapcům a charakteristické brzké zrání u dívek je obecně nevýhodné (Malina & Bouchard, 1991). Obecně jsou mladé sportovkyně zaměřené na běh či gymnastiku charakteristické delšími dolními končetinami, nižším poměrem bicristální a biakromiální šířky a nižší hmotností v porovnání s výškou postavy (McManus & Armstrong, 2010). Podrobnější výzkum antropometrických parametrů u házenkářek v souvislosti se specializací na jednotlivé posty zpracovali Bojić-Ćaćić, Vuleta a Milanović (2018).

2.3.2 Tkáňové charakteristiky

Kostní tkáň

Kosti se u chlapců a dívek liší před pubertou jen málo, ale poté se vyvíjí různě v závislosti na pohlaví. Během největšího růstu při dospívání dochází u chlapců převážně k růstu průměru kosti a kortikální tloušťky v důsledku periostální apozice. U dívek dochází ke zvětšení tloušťky kortikálu, zmenšení průměru medulární dutiny a k malému zvýšení průměru periostu v důsledku estrogenové inhibice periostální apozice (Kontulainen, Macdonald, & McKay, 2006).

Během puberty je obsah minerálu v měřeném úseku kosti ve zpoždění s nárůstem svalové hmoty, což naznačuje, že pro rozvoj kostí je důležité zvětšení svalů a současné zvýšení svalové síly. Svalová síla je pravděpodobně primárním determinantem kostní hmoty, struktury a odolnosti kostí. Ukázalo se, že specifické mechanické zatížení v rámci různých sportů může vést ke zvýšení kostní hmoty a zvětšení velikosti kostí na konkrétních místech. Můžeme tedy říci, že svalová síla a účinek nárazového zatížení má vliv na stavbu kosti (Duncan et al., 2002; Haapasalo et al., 2000)

Svalová tkáň

Při narození mají chlapci obvykle větší množství svalové hmoty než dívky. Tento rozdíl zůstává malý, ale zjizitelný během dětství s asi 10% větší hmotností u chlapců než u dívek do období puberty. Prudké zvýšení svalové disparity mezi pohlavími během puberty je způsobena primárně rolí gonadálních steroidních hormonů. Svalová hmota u dívek ve věku 10 let se zvyšuje z přibližně 25 kg až k hodnotám 45 kg ve věku 18 let. Hlášené hodnoty pro 15 letou atletku nejsou tolik rozdílné, pohybují se od 42 do 53 kg. Tyto přírůstky ve svalové tkáni představují zvýšení svalové hmoty asi o 5 % z celkové hmotnosti těla. Relativní příspěvek svalové hmoty k celkové tělesné hmotnosti obvykle klesá, jakmile se vezme v úvahu relativní příspěvek tukové hmoty (McManus & Armstrong, 2010).

Morfologické změny ve svalech ovlivňují jejich funkci. Maximální síla například závisí na konkrétním úhlu v kloubu, který přímo souvisí s mírou zkrácení svalu, typu kontrakce, ploše průřezu svalem a rychlostí kontrakce. Svalová síla vyjádřená pomocí momentu síly se zvyšuje s věkem u dětí, ale nárůst je větší u chlapců. O'Brien, Reeves, Baltzopoulos, Jones, a Maganaris (2010) předpokládali, že se jedná o výsledek větší plochy průřezu svalů. Alternativně mohou existovat vnitřní, pohlavím determinované, rozdíly ve složení vláken a únavových charakteristikách kosterního svalu, které se projevují během dospívání, což také ovlivňuje schopnost zvyšovat moment síly.

Ačkoli chlapci během dospívání disponují lepšími silovými schopnostmi než dívky, elitní atletky jsou silnější než jejich méně atletičtí vrstevníci. Například průměrná izometrická síla kvadricepsu a bicepsu byla o 22 % vyšší u elitních gymnastek a plavkyň a o 18 % vyšší u tenisových hráček ve srovnání s dětmi stejného věku, které na této úrovni nesportovaly. Nutno brát v potaz také relativní sílu, kdy porovnáváme maximální svalovou sílu s celkovou hmotností atletky (Bencke et al., 2002). Vztah mezi silou a tělesnou hmotou nebo poměrem síly k hmotnosti byl považován za důležitý prediktor sportovního výkonu, zejména v gymnastice, běhu na střední a dlouhé vzdálenosti. Proto vrcholové sportovkyně často disponují podprůměrnými hodnotami tuku, které jim zvyšují relativní sílu, avšak často se tímto i vystavují do problémů s menstruačním cyklem (Klentrou, 2003).

Tuková tkáň

Malé rozdíly v množství tukové hmoty mezi chlapci a děvčaty jsou patrné zhruba od nástupu puberty s tím, že u děvčat se během dospívání poměr tukové hmoty v těle stále navyšuje. Nárůst tukové hmoty končí v období puberty, kdy průměrná adolescentní dívka dosahuje hodnot tělesného tuku 26 – 31 % (McManus & Armstrong, 2010). Mladé sportovkyně

jsou zpravidla štíhlejší oproti nesportujícím dívkám. Podíl tělesného tuku se také odvíjí od charakteristického zatěžování konkrétních sportů. U kolektivních sportů se množství tuku pohybuje kolem 27 %, nízké hodnoty kolem 14,3 % byly naměřeny rytmickým gymnastkám ve věku 15 let, což je výrazně méně než v ostatních sportech (Klentrou, 2003).

Hlavními determinanty distribuce tělesného tuku jsou sexuální steroidy. U dívek je charakteristický vyšší nárůst podkožního tuku a tuku v oblasti pozadí a stehen. Tuková hmota v kombinaci s menším poměrem délky stehen k postavě snižuje těžiště u dívek, čímž se dosáhne lepších fyzikálních předpokladů pro udržení rovnováhy. Tuková hmota však také negativně souvisí s uvolňováním tepla, což může být nevýhodné pro dívky při vytrvalostních aktivitách za vyšších teplot (McManus & Armstrong, 2010).

2.3.3 Charakteristické rysy dívek staršího školního věku

Při naplňování trenérské praxe, či zdokonalování sportovního výkonu je důležité přizpůsobovat trénink věku svěřenců. Zákonitosti dětství a dospívání je nezbytné pro práci s mládeží znát. Pouze s těmito nezbytnými znalostmi lze správně vést, vychovávat a rozvíjet sportovce. Děti se po celou dobu až do dospělosti vyvíjejí. Jedná se zejména o změny ve stavbě těla. Vývoj člověka probíhá nerovnoměrně. Určitý časový usek několika let je charakteristický pro takové změny, že se určitá schopnost na začátku tohoto období vyvíjí a na jeho konci se vývoj relativně ukončuje. Tyto anatomicko-fyziologické a psychosociální zvláštnosti jsou natolik typické pro určité věkové období, že je můžeme označit za zákonitosti. Pochopení těchto zákonitostí umožňuje vyvarovat se zbytečných škod nevhodným zatěžováním rostoucího organismu. Zároveň umožňuje adekvátně zvolit a stimulovat schopnosti a dovednosti, které se v daném věku mohou a mají rozvíjet (Dovalil, 1998).

Ve výzkumu se zabýváme dívkami ve věku 13-15 let, které dle Dovalila (1998) řadíme mezi starší školní věk. Charakteristickými rysy tohoto období je tělesné dozrávání s růstovým zrychlením, nerovnoměrný vývoj, který může vést ke vzniku disproportioní. Rozvoj gonád a sekundárních pohlavních znaků. Jedná se nejvýznamnější období v rozvoji motoriky a vzestupu výkonnosti. Osvojování nových pohybových dovedností je velmi rychlé. Někdy můžeme také naopak pozorovat diskoordinaci, disharmonii a nezvládnutí základních pohybových činností. Egger, Oberle a Saluan (2019) rovněž tvrdí, že příliš ranná specializace na jediný sport může vést ke zvýšení rizika zranění.

Pohybová aktivita v průběhu dospívání pozitivně ovlivňuje tělesnou stavbu a konstituci lidského těla. Je známo, že fyzická aktivita vede k nárůstu kostní hmoty, což přispívá ke snížení rizika osteoporózy a zlomenin v průběhu života. Tento nárůst kostní hmoty je charakteristický v prvním měsíci života a právě v pubertě. Pozitivně je také ovlivněn růst svalové hmoty, která je

úzce spjata s růstem kostní hmoty. Zároveň byla prokázána souvislost mezi cvičením a růstem adolescentů do výšky (Alves & Alves, 2019).

2.4 Rizikové faktory poranění kolenního kloubu

Rizikové faktory poranění ACL jsou nejčastěji klasifikovány podle pohlaví, ale také podle jiných kritérií (Hughes & Watkins, 2006; Hewett et al., 2005; Dufek & Bates, 1991). Jednou z nejčastěji používaných kategorizací rizikových faktorů zranění je na vnitřní a vnější. Vnitřní faktory jsou osobní, fyzické a psychologické vlastnosti, které odlišují jednotlivce, a vnější faktory se týkají podmínek prostředí a způsobu, jakými jsou činnosti prováděny. Pokud jde o zranění ACL, Griffin et al. (2000) rozdělili vnitřní rizikové faktory do tří skupin - anatomické, hormonální a biomechanické, a vnější faktory popsali jako environmentální. Rozdělení rizikových faktorů na tyto skupiny nám může být nápomocno k diagnostikování příčiny zranění, avšak obvykle se jedná o komplex vnitřních i vnějších rizikových faktorů, které mají všechny na zranění svůj podíl.

Hlavním omezením současných modelů etiologie poranění kolenního kloubu obecně a zejména poranění ACL je neodhalování interakce různých rizikových faktorů. Přiměřeným prvním krokem ve snaze pochopit interakci mezi faktory by bylo popsat jejich vzájemný vztah. Poranění ACL je způsobeno nadměrným zatížením ACL, které je způsobeno abnormálním pohybem tibiofemorálního kloubu. Ten je způsoben selháním pasivních, nebo dynamických podpůrných mechanismů, které následně nejsou schopny adekvátně stabilizovat kloub (Hughes & Watkins, 2006).

Dále můžeme rizikové faktory může být na faktory dělit na modifikovatelné a nemodifikovatelné. Nemodifikovatelné jsou faktory závislé na genetice a vývoji lidského těla po stráně anatomické a hormonální (Dai, Herman, Liu, Garrett, & Yu, 2012). Konkrétně se může jednat například o rizikové faktory anatomického původu jako jsou nejrůznější dysfunkce menisků, šířka interkondylární jamky, kdy oba extrémy, ať už příliš úzká jamka, která má za následek nedostatek prostoru pro ACL, nebo naopak příliš široká jamka, významně zvyšují riziko poranění ACL (Simon, Everhart, Nagaraja, & Chaudhari, 2010). Dalším rizikovým faktorem může být laxita vazů, která souvisí se stabilitou všech kloubů. Může způsobovat až rizikovou hypermobilitu kloubů. Hlavními pozorovanými znaky konkrétně u laxity je tuhost vazů a jejich délka. Vysoká laxita vazů, což znamená, že jsou vazy měkčí a delší, než by měly dle normy být, mají za následek vyšší riziko zranění ACL (Serpell, Scarvell, Ball, & Smith, 2012).

Mezi rizikové faktory, které můžeme v praxi modifikovat různými formami tréninků a cvičení patří nejčastěji faktory biomechanického, nebo neuromuskulárního původu a jde

jimi přímo modifikovat rizikovost poranění ACL. Častými faktory bývá přetížení kvadricepsu, valgózní postavení dolní končetiny, svalová disbalance dolních končetin a dominance jedné dolní končetiny nad druhou charakterizující asymetrii, či nedostatečně posílený střed těla. Dalšími důležitými faktory jsou i únava, propriorecepce a omezený rozsah pohybu v kolenním kloubu (Hewett, Ford, Hoogenboom, & Myer, 2010).

2.4.1 Únava

Jedním z potenciálně modifikovatelných faktorů, kterému byla v posledních letech věnována velká pozornost, je únava. Únava vede k akutnímu snížení svalové síly, ke změnám vzorců aktivace svalů dolní končetiny, ke změnám v kinematice kyčle a kolena a ke zvýšení reakčních sil během dopadu. Předpokládá se, že všechny tyto faktory zvyšují pravděpodobnost nekontaktního poškození ACL (Barber-Westin & Noyes, 2017).

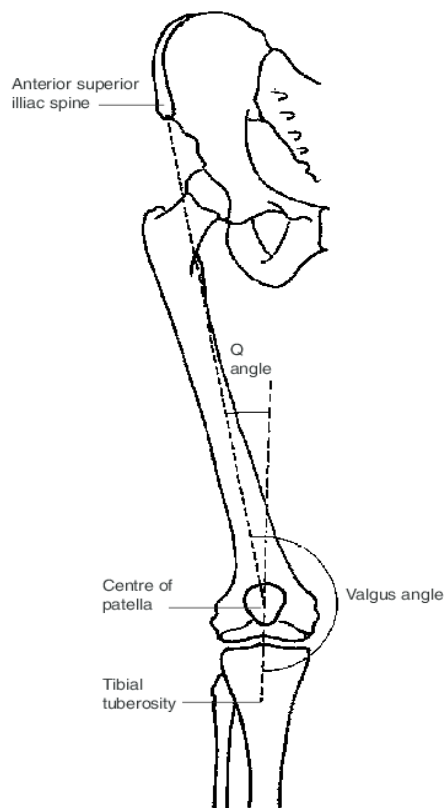
Zdá se, že svalová únava se může vztahovat na motorický deficit a kvalitu propriocepcce, nebo pokles koncentrace při podávání sportovního výkonu. To popisuje postupné snižování svalové síly, nebo koncový bod vytrvalé aktivity, který lze měřit jako snižování svalové síly při vytrvalostních aktivitách. Zároveň při vyčerpání pozorujeme změnu v elektromyografické aktivitě svalů, nebo vyčerpání správné kontraktilní funkce svalů. Takové široké pojetí únavy je však problematické, protože únava v tomto kontextu může zahrnovat několik jevů, z nichž každý je důsledkem různých fyziologických mechanismů, které jsou příčinou svalové únavy (Bigland-Ritchie, Dawson, Johansson, & Lippold, 1986). Cílenější definicí je, že se únava vztahuje k přechodnému, cvičením vyvolanému snížení schopnosti produkovat sílu v průběhu plnění libovolného úkolu. Pokud úkol zahrnuje zajištění maximální kontrakce, je míra únavy analogická poklesu výkonu. Pokud však úkol zahrnuje submaximální kontrakce, jak je tomu ve většině sportovních aktivit, nástup únavy nemusí okamžitě omezit schopnost vykonat úkol. Tato koncepce specifčnosti úkolů je důležitým prvkem v pojetí, které se objevilo v minulém století (Enoka & Duchateau, 2008).

Většina současných modelů únavy popisuje, že dopad únavy lze připsat jak centrálním, tak periferním mechanismům. Centrální únava odkazuje na cvičení vyvolávající snížení schopností plně volně aktivovat svaly a předpokládá se, že vzniká v důsledku jak spinálních, tak supraspinálních faktorů. To může zahrnovat suboptimální nervové řízení z mozkové motorické kůry. Naproti tomu periferní únava má za následek změny na neuromuskulárním připojení nebo distálněji a vyskytuje se především v důsledku snížení uvolňování iontů vápníku ze sarkoplasmatického retikula (McLean & Samorezov, 2009). Únava může být kvantifikována měřením změn vyvolaných cvičením v maximální volní síle, nebo maximální volní rychlosti

zkrácení svalů. Jsou však zapotřebí specifitější testy k určení rozsahu, v jakém jsou všechny deficity centrální nebo periferní únavy měřitelné (Hughes & Watkins, 2006).

2.4.2 Q úhel a valgózní úhel

Bylo prokázáno, že úhel Q, tj. ostrý úhel mezi linií spojující spina iliaca anterior superior ke středem patelly a linií spojující tibiální drsnatinu se středem patelly (Obrázek 1.), je v průměru větší u žen, než u mužů (Hutchinson & Ireland, 1995; Hewett et al., 2005; Serpell et al., 2012). Herrington a Nester, (2004) měřili Q úhly u 51 fyzicky aktivních mužů a 58 žen bez anamnézy poškození dolních končetin. Úhel Q byl měřen u stojících subjektů s uvolněným čtyřhlavým svalem stehenním. Výsledky ukázaly, že průměrný Q úhel byl významně větší u žen. Jeho hodnota byla u žen průměrně 13,9°, zatímco u mužů dosahoval Q úhel průměrné hodnoty 11,5°. Čím větší je úhel Q, tím větší je valgózní úhel kolena. Protože zvýšený valgózní úhel během dynamického pohybu je spojen se zvýšenou pravděpodobností poškození ACL, některé studie zkoumaly vztah mezi Q úhlem a výskytem ruptur ACL. Například Shambaugh, Klein, a Herbert (1991) zkoumali vztah mezi geometrií dolních končetin a zraněním kolen u rekreačních sportovců. Výsledky ukázaly, že sportovci, kteří utrpěli zranění kolene, měli výrazně větší úhly Q než sportovci, kteří nebyli zraněni. Průměrný Q úhel zraněného kolene je 14°, zatímco nezraněné koleno nabývá hodnot kolem 10°. Rovněž je třeba brát v potaz, že valgózní úhel kolena pozorovaný, když subjekty provádějí změnu pohybu, nebo při dopadu, bude pravděpodobně odlišný oproti statickému úhlu Q a valgózního úhlu měřeného v základní anatomické poloze těla (Hughes & Watkins, 2006).



Obrázek 1. Q úhel a valgózní úhel pravé dolní končetiny (Hughes & Watkins, 2006)

2.4.3 Kongruence mezi kloubními plochami femuru a tibie

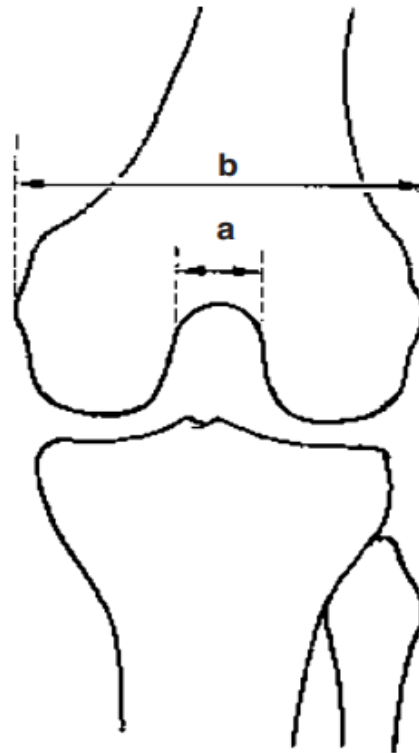
Kongruence mezi kloubními plochami stehenní kosti a holenní kosti závisí na velikosti a tvaru na sebe nasedajících ploch stehenní kosti a holenní kosti, dále také na velikosti a tvaru menisku. Femorální konvexní plošiny v sagitální rovině a mělké konkávní tibiální plošiny

v sagitální rovině nejsou shodné, ale na zdravém kolenu je kongruence mezi femorální a tibiální plošinou obvykle poměrně vysoká díky funkci menisků. Bylo prokázáno, že poškození menisků, zejména úplné radiální trhliny, snižují kongruenci a snižují tedy i pasivní stabilitu kloubu. Kongruence mezi femorální a tibiální plošinou je také ovlivněna šířkou intercondylární jamky.

(INW; Intercondylar notch width – Obrázek 2.) Čím širší je jamka, tím nižší je kongruence (Hughes & Watkins, 2006).

Čím užší je jamka, tím je menší prostor pro zkřížené vazy. Některé studie uvádějí, že ženy mají menší INW a NWI (Notch width index; poměr INW k šířce femorálních epicondylů) než muži (Mohamed, Useh, & Mtshali, 2012). Řada studií také zaznamenala větší výskyt poškození ACL u subjektů s menšími INW (Ireland, Ballantyne, Little, & McClay, 2001) a NWI (Ireland et al., 2001). Například Uhorchak et al., (2003) zkoumali femur a tibií a provedli čtyřletou studii na 711 kadetech a 113 kadetkách v armádě. INW byl měřen na začátku čtyřletého období pomocí rentgenu s využitím digitálních posuvných měřidel. Během čtyřletého období se vyskytlo 24 bezkontaktních ACL zranění, 16 u mužů a 8 u žen. Výsledky ukázaly, že hodnoty INW byly významně menší u žen v průměru

INW 15,6 mm ve srovnání s muži, kteří dosahovali v průměru INW 17,7 mm a INW byl významně menší u subjektů bezkontaktního zranění ACL. Průměr INW u bezkontaktních zranění byl výrazně užší oproti nezraněným vojákům, kteří dosahovali průměrných hodnot INW zhruba o 4 mm širších. Zjištění ukázala, že ženy měly užší INW než muži stejné výšky a výskyt ruptury ACL byl vyšší u skupiny s užší INW než u skupiny se širší INW. Zjištění však neprokázala žádný rozdíl v četnosti ruptury rekonstruovaného ACL mezi skupinami s úzkým a širokým INW.



Obrázek 2. Šíře intercondylární jamky (Intercondylar notch width; INW); a/b) index šíře jamky (Notch width index; NWI) (Hughes & Watkins, 2006)

2.4.4 Oslabený střed těla

Nedostatky v kontrole středu těla, ke kterým často dochází při vysoce rizikových činnostech, jako je rychlá změna pohybu, nebo dopady, jsou prediktorem zranění ACL (Whyte, Richter, O'Connor, & Moran, 2018). Whyte et al., (2018) se zabývali účinností šestitýdenního tréninku středu těla na biomechaniku očekávané a neočekávané změny pohybu. Po ukončení tréninku se ukázal pozitivní vliv na snížení valgózního úhlu kolene a menší moment síly externích rotátorů. Šestitýdenní program neovlivnil kinematiku středu těla, ale snížil malý počet biomechanických rizikových faktorů, které zvyšují riziko poškození ACL převážně během očekávané změny pohybu. Hewett et al. (2010) oslabený střed těla definuje jako neschopnost přesně ovládat svůj střed těla ve všech třech rovinách. Zároveň informuje, že se jedná obvykle o ženy, které kvalitně nevnímají svou polohu těla v prostoru. Kritické období v ovládnutí svého středu těla je právě období růstového spurtu v období od začátku po konec puberty, kvůli prudkému nárůstu tukové hmoty a výšky. Chlapcům v tomto případě přibývá s hmotností také síla, ale u dívek se nárůst hmotnosti skládá z větší části z tukové hmoty čili jejich síla v poměru k hmotnosti je nižší. Často tedy nemají dostatečnou sílu pro koordinování tohoto hmotnostního nárůstu, což může zároveň znamenat vyšší momenty sil v kolenním kloubu čili i vyšší riziko poranění kloubu. De Blaiser et al. (2019) doplňuje, že také snížené vytrvalostní kapacity středu těla jsou významně spojeny se zvýšením rizika poranění.

2.5 Nervosvalová koordinace

Důsledkem trénovanosti nervosvalové koordinace mohou špičkoví sportovci být schopni lépe koordinovat aktivování vláken v jednotlivých svalech a svalových skupinách. (Zatsiorsky & Kraemer, 2014). Významnou roli ve snížení rizika poranění kolenního kloubu díky rozvoji nervosvalové koordinace potvrzují autoři Sasaki et al., (2019) a Hewett et al., (2005). Nervosvalovou koordinaci můžeme rozdělit na intermuskulární a intramuskulární koordinaci.

Intermuskulární koordinace spočívá zejména v komplexní koordinaci zapojených svalových skupin. Konkrétně mluvíme o zkvalitnění koordinace synergistů a antagonistů. Proto je důležité, aby cílem tréninku byl celkový pohybový vzorec, nikoliv práce jednotlivého svalu, nebo pohyb pouze v jednom kloubu. Samotné vyvinutí maximální síly závisí na sladění aktivace mnoha svalů (Zatsiorsky & Kraemer, 2014). Aktivace antagonistů zlepšuje stabilizaci kloubů a přispívá k optimalizaci pohybové koordinace, čímž představuje ochranu před zraněními, doplňuje (Lehnert et al., 2014).

Intramuskulární koordinace řízená nervovým systémem má schopnost upravit vyvíjenou svalovou sílu. Změny svalové aktivity mohou nastat prostřednictvím:

- rekrutace (postupná aktivace, či deaktivace jednotlivých motorických jednotek),
- frekvence (rychlost střídavého zapojování motorických jednotek),
- synchronizace (současné aktivování více motorických jednotek)

Ve všech případech modifikace svalové síly hrají roli motorické jednotky (MJ), které Zatsiorsky a Kraemer (2014) řadí mezi základní prvky podávání výkonu motorického systému. Základem motorického systému je motorická jednotka. Jedná se o soubor svalových vláken inervovaných pouze jedním motoneuronem. Je nejmenší komponentou, kterou lze samostatně aktivovat. Axon motoneuronu se po vstupu do svalu větví, jeho terminální vlákno inervuje vždy jedno svalové vlákno. Vzniká synapse, které u motoneuronů říkáme nervosvalová ploténka. Motorické jednotky představují periferní motoneuron (Ambler, 2006). Uvolněním acetylcholinu na ploténce je přenesen signál pro vznik akčního potenciálu na sarkolemě. Aktivací receptorů přímo řídicích kanálky pro sodíkové kationty vzniká ploténkový potenciál (Langmeier et al., 2009). Při aktivaci MJ se rozdělují impulzy do všech vláken MJ, nelze tedy aktivovat pouze část vláken MJ. V malých svalech, které vyžadují jemnou kontrolu se MJ skládají pouze z několika svalových vláken. Například v extraokulárních svalech, které jsou odpovědné za okohybný pohyb pokrývá MJ jen 23 svalových vláken. Na druhou stranu u velkých svalů quadricepsu může MJ pokrývat až 2000 svalových vláken (Zatsiorsky & Kraemer, 2014).

Motorické jednotky můžeme také rozdělit na základě kontraktilních vlastností na rychlé a pomalé. Na delší využití při relativně malých rychlostech jsou specializovány pomalé MJ neboli slow-twitch (ST). Jejich motoneurony mají nízký reakční práh a nízkou frekvenci dráždění MJ. Jejich axony mají relativně malou přenosovou rychlost a motorická vlákna jsou přizpůsobena na dlouhou aerobní práci. Naopak pro relativně krátké periody s důrazem na maximální výkon při vysokých rychlostech a rychlém generování síly slouží rychlé motorické jednotky neboli fast-twitch (FT). Motoneurony zde mají vysoký reakční práh a vysokou frekvenci dráždění MJ. Axony se vyznačují vysokou přenosovou rychlostí. Motorická vlákna jsou přizpůsobena na výbušnou a anaerobní práci (Zatsiorsky & Kraemer, 2014).

Rekrutace je možností, jak navýšit svalovou sílu prostřednictvím postupného aktivování jednotlivých motoneuronů. Jako první jsou zapojovány malé motoneurony s nízkou prahovou hodnotou aktivace. Stejný proces Lehnert et al., (2014) popisuje jako nábor MJ, který určuje jejich počet a typ. Při potřebě vyvinutí větší síly jsou následně zapojovány větší MJ. Motorické jednotky, které mají největší motoneurony jsou kvůli jejich vysokému aktivačnímu prahu aktivovány až jako poslední. Z toho vyplývá, že ve svalech, které se skládají jak ze ST, tak i z FT motorických jednotek je složité dosáhnout plné aktivace rychlých motorických jednotek, neboť rekrutace svalové síly rekrutuje jako první motoneurony s nízkou prahovou hodnotou aktivace.

Netrénovaní jedinci tedy často nejsou schopni maximálně využít potenciál všech svalových vláken ve svalu a dosáhnout tak maximální síly či rychlosti (Hewett, Lindenfeld, Riccobene, & Noyes, 1999). Při provádění specifického pohybu je pořadí rekrutace motorických jednotek ve svalu relativně stálé. Pořadí rekrutace se však může změnit, pokud sval pracuje multifunkčně při různých pohybech. Při jednom pohybu svalu může jistá MJ vykazovat nízký aktivační práh. Tatáž MJ může při jiném pohybu vykazovat vysoký aktivační práh (Zatsiorsky & Kraemer, 2014).

Frekvence dráždění zapojených MJ je dalším mechanismem odstupňování zvyšování síly. Ve značném rozsahu se může měnit frekvence střídavého zapojování MJ, což může dále zvyšovat produkci síly již zapojených MJ (Lehnert et al., 2014). Frekvence se zpravidla zvyšuje se zvyšováním síly a výkonu. Podíl stupňování síly mezi rekrutací a frekvencí dráždění MJ se liší ve velkých a malých svalech. V malých svalech se většina MJ aktivuje již při zhruba 50 % maximálního zatížení svalu. Následně hraje ve stupňování svalové síly roli zvyšující se frekvence dráždění. Ve velkých proximálně uložených svalech, například v bicepsu či deltovém svalu, je stupňování svalové síly zabezpečeno až do 80 % maximální síly svalu, následné vyvíjení síly je téměř výlučně řízeno pomocí zvyšování frekvence dráždění MJ (Zatsiorsky & Kraemer, 2014).

Synchronizace MJ je specifická u vrcholových sportovců, kteří uplatňují maximální vědomé použití rychlosti a síly. Za normálních okolností MJ pracují asynchronně, aby byly schopné vytvořit plynulý a přesný pohyb. Pro vyvíjení maximální síly je důležité, aby během krátkého časového období pracovaly synchronně (Zatsiorsky & Kraemer, 2014). Synchronizace aktivovaných MJ je charakteristická při pohybu s maximálním úsilím proti minimálnímu odporu (Lehnert et al., 2014)

Zatsiorsky & Kraemer (2014) také zdůrazňují nezanedbatelný význam psychologických faktorů. Při extrémních podmínkách, jako je například boj o život, je člověk schopen vyvinout mimořádnou velikost síly. Taktéž při vsugerování rostoucí síly netrénovaným lidem v hypnóze mělo za následek vyšší hodnoty síly, které dosáhli. Naopak vsugerování trénovaným i netrénovaným sportovcům úbytku sil mělo za následek skutečný pokles hodnoty síly, což bylo interpretováno jako vliv řízení centrální nervové soustavy (CNS), která je schopná ve výjimečných případech stimulovat, či omezit nervosvalovou koordinaci. CNS tedy za normálních okolností omezuje aktivitu motoneuronů v míše. Silový trénink má schopnost redukovat tyto neurální omezení při současném rozšíření fondů rekrutovatelných motoneuronů a nárustu síly. Psychologické faktory jsou velmi zásadními složkami, které je třeba brát v potaz zejména při práci s atlety či atletkami, kteří jsou po zranění (Hemsley, Sitler, Moyer, & Oatis, 2010).

2.5.1 Propriorecepce

Součinností různých receptorových systémů získáváme schopnost vnímání polohy a pohybu vlastního těla (propriorecepce). Jedná se o smyslová čidla (proprioreceptory) v kloubech, šlachách a svalech, receptory v polokruhovitých kanálcích a elipsovitém a kulovitým váčku středního ucha. Pohyb vnímáme také pomocí receptorů v kůži reagující na její napínání. Propriorecepce nám umožňuje vnímat třemi smysly:

- polohový smysl – vnímání polohy končetin trupu a hlavy
- pohybový smysl – vnímání změny polohy končetin trupu a hlavy
- silový smysl – pomáhá nám určit sílu a velikost odporu pro každý pohyb

Většina informací z proprioreceptorů slouží k reflexnímu řízení vzpřímené polohy těla, svalového napětí, uplatňují se při řízení pohybů a při orientaci v prostoru. Díky proprioreceptorům si dokážeme vytvořit a vnímat trojrozměrné tělesné schéma našeho těla (Langmeier et al., 2009). Podobný systém „svalových smyslů“ popisuje i Riemann a Lephart, (2002), konkrétně držení těla, pasivní pohyb, aktivní pohyb a odpor vůči pohybu.

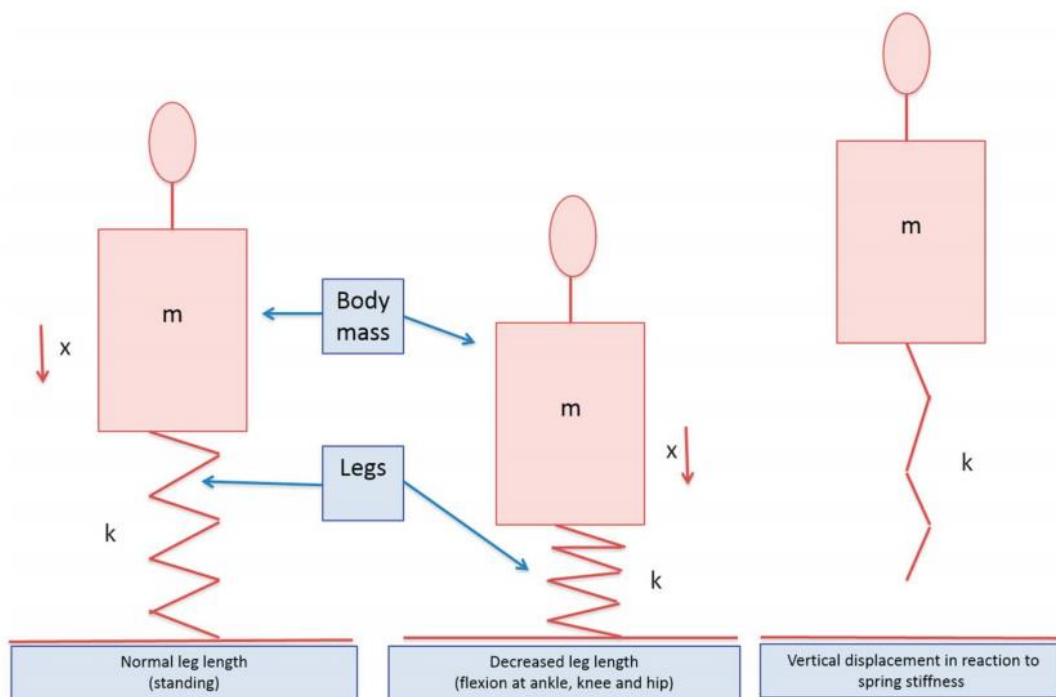
Mezi proprioreceptory patří svalová vřeténka, která registrují protažení a zkrácení svalů. Jedná se o modifikovaná svalová vlákna obalená vazivovým pouzdem. Svalová vřeténka jsou zapojena paralelně mezi svalová vlákna kosterního svalu. Natažení svalu tedy natahuje i svalová vřeténka, čímž zvyšují aktivitu z nich vycházejících aferentních vláken. Naopak při zkrácení svalu způsobuje uvolnění svalových vřetének a pokles jejich aferentní signalizace. Golgiho šlachová tělíska se nacházejí v těsné blízkosti svalových vláken a jsou tvořena nemyelinizovanými úseky aferentních nervových vláken. Kontrakce svalu, nebo zvýšení napětí podráždí šlachová tělíska a na základě jejich změny membránového potenciálu mohou měnit aktivitu svalu a tím ho chránit před poškozením při přepětí. V kloubech jsou specializované receptory, které svou strukturou připomínají některé tlakové receptory v kůži. Reagují na tlakové zatížení a pohyb kloubu, tyto informace přispívají k propriocepci, ale hlavním úkolem je pravděpodobně signalizace hrozícího poškození při extrémní zátěži nebo rizikových pohybech (Langmeier et al., 2009). Právě kloubní receptory bývají často při poranění kloubů porušeny a ukazují se jako nezbytné pro správnou propriocepci (Riemann & Lephart, 2002b).

Propriorecepce poskytuje jedinečnou senzoryckou složku pro optimalizaci motorického řízení pohybu. Také jsou informace z proprioreceptů nezbytné pro správné fungování neuromuskulární koordinace (Riemann & Lephart, 2002b). Vliv propriorecepce na rizikovitost zranění kolenního kloubu poukazuje Hughes a Watkins, (2006) v řetězci, kdy trénink ovlivňuje kvalitu propriorecepce, která ovlivňuje reakční rychlost svalů, což ovlivňuje správnou funkci svalů, která může mít za následek horší stabilitu kolenního kloubu a tedy zvýšit riziko jeho poranění.

2.6 Nástroje pro hodnocení neuromuskulární koordinace a rizika zranění

2.6.1 Tuhost dolní končetiny (Leg stiffness; LS)

Výskok a dopad je neodmyslitelnou součástí sportu a jiných pohybových aktivit. Soustava vazů, šlach, svalů, kostí a kloubů nám vytváří mechanismus, který je schopný tlumit a generovat energii díky svým elastickým vlastnostem (Rapoport, Mizrahi, Kimmel, Verbitsky, & Isakov, 2003). Tuhost dolní končetiny je popisována v kontextu analýzy různých pohybových úloh. Ačkoli se rychlost člověka např. při chůzi či běhu, zdá být konstantní, jedná se ve skutečnosti o pohyb dolních končetin a těžiště charakteristický střídáním fází zrychlení a zpomalení. Elastické vlastnosti tkání, zejména svalů a šlach, jsou připodobňovány k pružinám, které absorbují energii a vzápětí ji uvolní (Obrázek 3.). Modelovým příkladem je Achillova šlacha, která je schopna nashromáždit až 35 % mechanické energie potřebné k provedení kroku (Struzik & Zawadzki, 2016).



Obrázek 3. Pružinový model funkce dolních končetin (Brazier et al., 2014) *Vysvětlivky:* m = hmotnost, k = tuhost pružiny, x = pohyb dolů

Brauner, Sterzing, Wulf, a Horstmann, (2014) považují tuhost dolní končetiny za důležitý parametr ve výzkumu biomechaniky člověka z důvodu vlivu na výkon a predikci zranění. Dále předpokládají, že vysoká tuhost dolní končetiny může zvyšovat riziko poranění kostní tkáně, zatímco nízká tuhost dolní končetiny zvyšuje riziko poranění měkkých tkání. Vysoká tuhost dolních končetin je charakteristická pro silové nebo sprinterské disciplíny. Pro vytrvalce je naopak charakterističtější nižší tuhost dolních končetin. Hughes a Watkins, (2006) popisují, že

svalová tuhost kvadricepsu a hamstringů může zabránit tibiofemorálnímu pohybu a následnému zranění ACL. Jedním z faktorů, který může ovlivnit tuhost dolních končetin, je svalová síla. Ženy v porovnání s muži dosahují nižších hodnot síly i v případě, že se jednalo o relativní sílu v poměru k hmotnosti. To naznačuje, že ženy mají také nižší tuhost dolních končetin a jsou vystavovány vyššímu riziku zranění ACL.

Tuhost dolní končetiny Dalleau, Belli, Viale, Lacour, a Bourdin, (2004) popisují jako poměr maximální síly a míry flexe dolní končetiny. Tito autoři také představili a ověřili novou metodu pro stanovení tuhosti dolní končetiny, která může být prováděna i v terénních podmínkách za využití kontaktní podložky pro měření výšky a doby kontaktu během vertikálního skoku. Metoda byla potvrzena při submaximálních a maximálních výskocích díky současnému měření tuhosti dolní končetiny prostřednictvím plošiny měřící sílu odrazu. Lehnert et al., (2019) popisuje, že stanovení LS u dětí může být užitečným ukazatelem úrovně neuromuskulární koordinace pro trenéry a kliniky.

2.6.2 Reaktivní index síly (Reactive strength index; RSI)

Reaktivní index síly je parametr, který umožňuje zkoumat cyklus natažení a zkrácení (stretch-shortening cycle; SSC). RSI lze vypočítat jako poměr mezi výškou skoku a časem stráveným v kontaktu se zemí potřebnému k vyvinutí odrazových sil. RSI představuje schopnost jedince přeměnit excentrickou sílu na sílu koncentrickou (Lloyd, Oliver, Hughes, & Williams, 2012). RSI je významným prediktorem poškození ACL a změny v RSI během normálního soutěžního týdne mohou v důsledku únavy naznačovat větší riziko zranění (Jon L. Oliver, De Ste Croix, Lloyd, & Williams, 2014).

Při excentrické kontrakci svalu se v průběhu jeho natahování ukládá energie. Kosterní svalstvo není schopno se natáhnout samo. Je k tomu potřeba antagonisty, či působení vnější síly. Vnější energie se do svalu ukládá prostřednictvím deformační energie, která může být následně využita při následném zkrácení svalu, tedy při koncentrické kontrakci. Kosterní svaly se dokáží zkrátit v průměru o 57 %, některé však i o 70 % jejich klidové délky (Hamill, Knutzen, & Derric, 2015).

Nižší index reaktivní síly naznačuje nižší efektivitu SSC cyklu, které mohou být způsobeny vyšší svalovou latencí, a proto horší neuromuskulární aktivitou (Raschner et al., 2012). Dle Lloyd et al., (2009, 2012) snížení RSI může snížit rekrutaci motorických jednotek, a tedy dojde ke snížení tolerance vůči excentrickému zatížení na muskulotendonové jednotce. Přesněji řečeno, může dojít ke snížení SSC reflexu, rozvoje síly a částečnému znecitlivění Golgiho šlachových tělísek. To představuje oslabený nervový mechanismus, což má za následek menší toleranci těla na nárazové síly při maximální zátěži. Souvislost tuhosti dolní končetiny a relativního indexu síly

se sportovním výkonem nám může pomoci porozumět tomu, jak se nervová regulace těchto kvalit mění s věkem a může pomoci objasnit, jak děti zlepšují své fyzické vlastnosti a jak zrají (Lloyd et al., 2012).

3 Cíle a hypotézy

3.1 Cíl práce

Posoudit vliv věku na úroveň neuromuskulární koordinace v oblasti kolenního kloubu u házenkářek kategorie U14 a U16 za pomoci opakovaných vertikálních výskoků.

3.2 Dílčí cíle

- Posoudit vliv věku na reaktivní silový index
- Posoudit vliv věku na tuhost dolní končetiny

3.3 Hypotézy

- Reaktivní silový index se u mladých házenkářek zvyšuje s věkem
- Index tuhosti končetiny se u mladých házenkářek zvyšuje s věkem

4 Metodika

Diplomová práce vznikla v rámci projektu „Kumulativní efekt únavy na neuromuskulární řízení kolene a riziko zranění u mladých sportovců během růstu a zrání“, který byl schválen etickou komisí Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci.

Soubor

Výzkumu se v plném rozsahu účastnilo 16 hráček kategorie U14 (věk $13,1 \pm 0,6$ let, výška $161,9 \pm 8,2$ cm, hmotnost $53,3 \pm 9,8$ kg) a 11 hráček kategorie U16 (věk $15,2 \pm 0,5$ let, výška $167,5 \pm 4,4$ cm, hmotnost $60,7 \pm 6,4$ kg). Jedná se o hráčky Dámského házenkářského klubu (DHK) Zora, které se v obou věkových kategoriích účastní nejvyšší soutěže pořádaných Českým svazem házené.

Použitá technika

- Antropometrické zařízení A-226 (Trystom, Olomouc, Česká Republika)
- silová plošina (Pasco, Roseville, CA, USA),
- kontaktní koberec (Fitronic, Bratislava, Slovensko),
- metronom Wittner (GmbH & Co. KG, Isny, Německo).

Průběh měření

Měření probíhalo na začátku sezóny ve dvou po sobě následujících letech. Měření bylo plánováno tak, aby v den měření ani den předtím hráčky neabsolvovaly žádný trénink s vysokým zatížením. Před samotným testováním se hráčky rozcvičily a zkusily si několik opakovaných vertikálních výskoků. Jednotlivé testy hráčky absolvovaly v tříčlenných skupinách v různém pořadí. Při testech měli svou standardní obuv.

Měření reaktivního silového indexu

RSI bylo stanoveno pomocí testovacího cvičení, které se skládalo z 5 maximálních vertikálních skoků provedených na kontaktním koberci (Fitronic, Bratislava, Slovensko). Hráčky byly instruovány, aby vyskočily co nejvýše a co nejrychleji. Celkem podstoupily 3 série mezi kterými byly dvouminutové přestávky, kdy první byla cvičná a zbylé dvě měřené. První ze série 5 maximálních vertikálních výskoků nebyl zahrnut do analýzy.

- $RSI = \text{výška skoku (mm)} / \text{doba kontaktu (ms)}$.

Měření tuhosti dolní končetiny

Pro stanovení LS podstoupily všechny hráčky 3 měřené série 20 submaximálních výskoků, které byly prováděné frekvencí 2,5 Hz na silové plošině (Pasco, Roseville, CA, USA). Hráčky byly

instruováni, aby po celou dobu držely ruce v bok, aby se zamezilo ovlivnění výsledků pomocí horních končetin. Dále aby se odrážely a dopadaly na stejné místo. Dopad byl do plně napnutých dolních končetin. Pro následnou analýzu bylo použito deset po sobě jdoucích skoků (6. až 15. skok).

Dále byla vypočtena relativní tuhost dolních končetin (RLS) vydělením absolutní tuhosti dolních končetin tělesnou hmotností a délkou končetin (Dalleau et al., 2004). Bylo prokázáno, že tento postup je u mladých sportovců validní a reliabilní (Lloyd et al., 2009).

- Tuhost dolní končetiny = $[m \times \pi (T_f + T_c)] / T_c^2 \times [(T_f + T_c / \pi) - (T_c / 4)]$,
kde m je celková hmotnost hráčky, T_f – doba letu, T_c – doba kontaktu.

Statistické zpracování dat

Statistické zpracování bylo provedeno v programu Statistica (verze 13, TIBCO software, Palo Alto, CA, USA). Normalita rozložení dat byla ověřena pomocí testu Kolmogorov-Smirnov. Rozdíly mezi měřeními byly hodnoceny pomocí párového t-testu. Hladina statistické významnosti byla stanovena $\alpha = 0,05$.

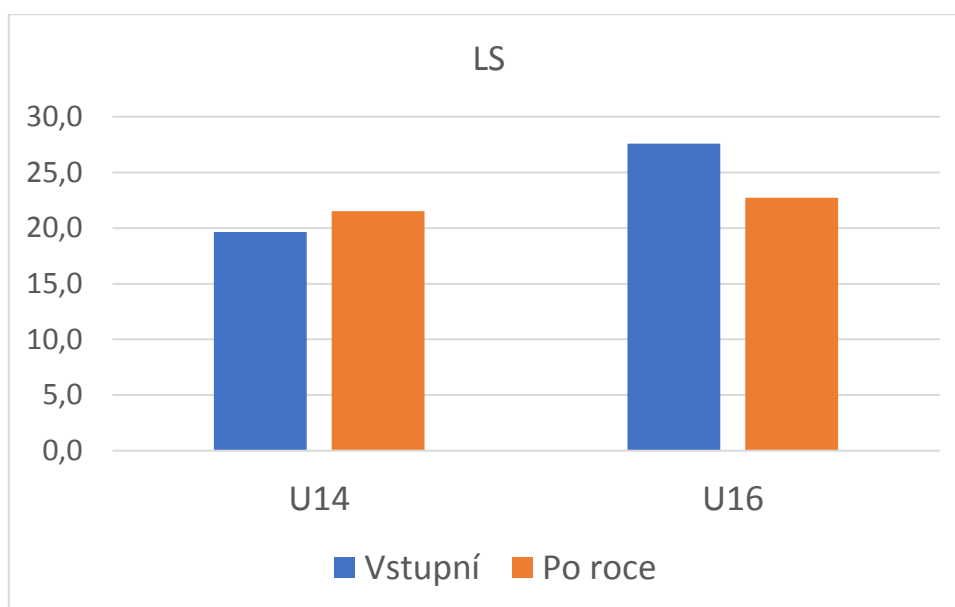
5 Výsledky

Tuhost dolní končetiny

V 1. tabulce pozorujeme hodnoty tuhosti dolní končetiny, kde rozdíl mezi vstupním měřením a měřením po roce je u kategorie U14 zanedbatelný, zatím co u kategorie U16 je zjevný (Obrázek 4.). Hladina statistické významnosti je $p = 0,001$.

Tabulka 1. Hodnoty tuhosti dolní končetiny kategorie U14 a U16 vstupní a po roce

Kategorie	Vstupní	Po roce
U14	19,7	20,5
U16	27,6	22,7



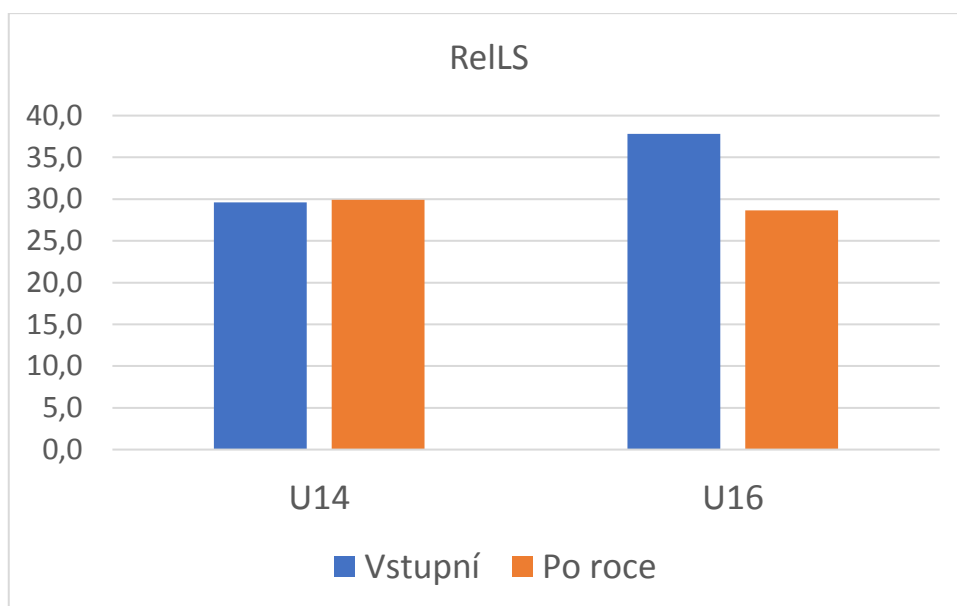
Obrázek 4. Grafické znázornění tuhosti dolní končetiny

Relativní tuhost dolní končetiny (Relative leg stiffness; ReLS)

V tabulce 2. popisující relativní tuhost dolní končetiny pozorujeme podobný trend jako u absolutní tuhosti. U kategorie U14 jsou hodnoty obdobné (Obrázek 5.). U kategorie U16 je hodnota ReLS vyšší u vstupního měření. Hladina statistické významnosti $p < 0,001$.

Tabulka 2. Hodnoty Relativní tuhosti dolní končetiny kategorie U14 a U16 vstupní a po roce

Kategorie	Vstupní	Po roce
U14	29,6	29,9
U16	37,8	28,6



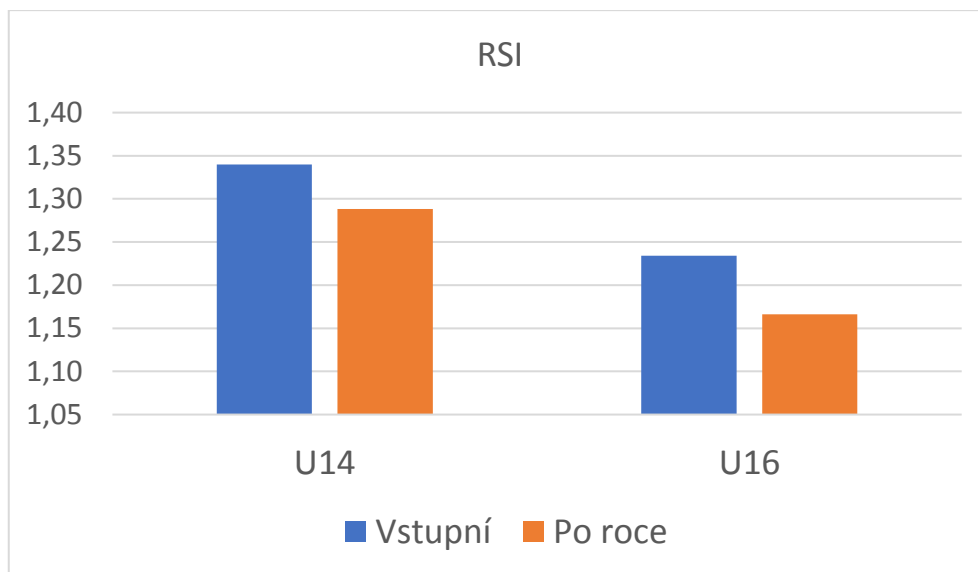
Obrázek 5. Grafické znázornění výsledků relativní tuhosti dolní končetiny

Reaktivní index síly

V tabulce 3. pozorujeme hodnoty reaktivního indexu síly, které se u obou věkových kategorií v průběhu dvou měření snížily. Avšak rozdíl ani v jednom případě nebyl statisticky významný. Graf (Obrázek 6.) dokonce naznačuje postupné snižování hodnot RSI s věkem napříč kategoriemi.

Tabulka 3. Hodnoty reaktivního indexu síly kategorie U14 a U16 vstupní a po roce

Kategorie	Vstupní	Po roce
U14	1,34	1,29
U16	1,23	1,17



Obrázek 6. Grafické znázornění výsledků reaktivního indexu síly

Shrnutí výsledků

Hráčky kategorie U14 dosáhly při prvním měření LS průměrných hodnot 19,7 a směrodatná odchylka nabývala hodnot 5,1. Po ročním měření, dosáhly hráčky vyšších průměrných hodnot 21,5 a zároveň se lehce ustálil rozptyl hodnot a směrodatná odchylka činila 4,4. Signifikace těchto hodnot dosahuje 0,271. V hodnotách LS tedy rozdíl není statisticky významný. RelLS při obou měření dosahovala velmi podobných průměrných výsledků 29,6 a 29,9. Zdá se tedy, že u kategorie U14 1 rok nemá významný vliv na nervosvalovou koordinaci. RSI dosahovalo viditelně nižších hodnot už po roce měření a zároveň následně průměrné hodnoty klesaly i v kategorii U16. Avšak rozdíl v hodnotách nebyl statisticky významný.

Hráčky kategorie U16 dosahovaly při měření LS průměrných hodnot 27,6, které se po roce snížily na 22,7. Tyto hodnoty jsou statisticky významné. RelLS se v rozestupu roku v průměrných hodnotách snížila z 37,8 na 28,6. Směrodatná odchylka LS i RelLS byla oproti kategorii U14 nižší. Rozdíly byly pro oba parametry významné. U hodnot RSI jsme stejně jako u kategorie U14 pozorovali postupné klesání i v rozmezí dvou měření v rozestupu jednoho roku z 1,23 na 1,17, což ukazuje na pokles hodnot RSI s věkem. Rozdíly nebyly statisticky významné, což však může souviset také s vysokou směrodatnou odchylkou a relativně nízkým počtem hráček.

6 Diskuze

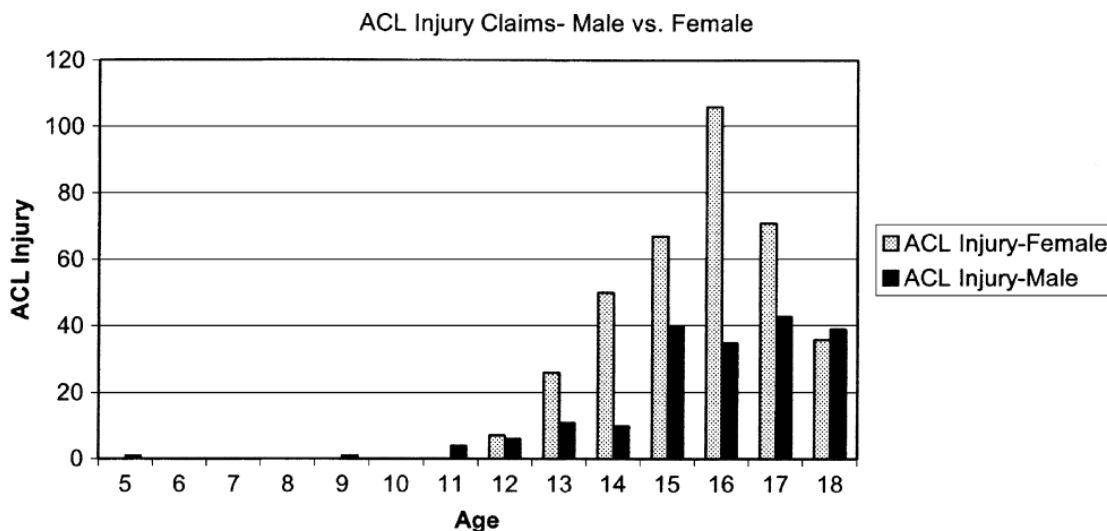
Tuhost dolní končetiny

Výsledky ukazují nepatrný nárůst v průměrné hodnotě tuhosti dolní končetiny v rozmezí roku u kategorie U14, zatímco u kategorie U16 došlo k významnému poklesu hodnot. Zdá se tedy, že u dívek může k zásadním změnám docházet okolo 15. roku. To je důležité mimo jiné proto, že tuhost dolní končetiny může během zatížení hrát roli ve zvýšené míře zranění ACL pozorované právě u žen (Padua, Carcia, Arnold, & Granata, 2005). Brazier et al., (2014) popisuje, že ženy vykazují během skákání menší tuhost dolní končetiny než muži. Podobně Padua et al., (2005) a De Ste Croix, Hughes, Lloyd, Oliver, a Read (2017) se shodují, že snížená tuhost dolních končetin u žen může mít za následek sníženou stabilitu kolenního kloubu a potenciálně ovlivnit jejich zvýšené riziko poranění ACL (Padua et al., 2005).

Možným faktorem ovlivňujícím tuhost končetiny může být únava (Jonathan L. Oliver, Lloyd, & Whitney, 2015; McLean et al., 2007), která má negativní vliv na tuhost dolní končetiny. Nicméně měření byla prováděna po roce. Únava související s rozdílnou částí soutěžního období by se tedy na našich výsledcích neměla výrazně projevit. Ronglan, Raastad a Borgesen (2006) zdůrazňují vliv únavy u elitních házenkářek na neuromuskulární řízení dolní končetiny, které je patrné již po třech dnech zátěže v soutěžním období.

Dalším možným faktorem, který by výrazně mohl ovlivnit tuhost dolních končetin je růstový spurt, který je pro kategorii U16 charakteristický. Dle Dovalila (1998) se jedná o období růstového zrychlení, vzniku disproporcí a jedná se o nejbouřlivější fázi rozvoje motoriky. Tyto skutečnosti pravděpodobně mají vliv na LS. Vliv výšky a hmotnosti je možné redukovat pomocí relativní tuhosti dolní končetiny, kterou popsali Dalleau et al., (2004), avšak v naší studii byly výsledky pro absolutní relativní tuhost podobné. Určitý vliv by mohl mít vyšší nárůst tukové hmoty v horní polovině těla, kdy dojde ke zvýšení hmotnosti, avšak ne aktivní svalové hmoty ve svalech, které se účastní odrazu. Menší relativní množství aktivní svalové hmoty u dívek v tomto období může souviset s vyšším rizikem poranění (Granata, Padua, & Wilson, 2002).

Nezanedbatelným faktorem ovlivňujícím zvýšené riziko poranění kolenního kloubu je věk. Shea, Pfeiffer, Wang, Curtin, a Apel, (2004) poukazují na narůstající počet zranění ACL, kdy nejvyšší počet těchto zranění nastává právě ve věku 16 let (obrázek 7.).



Obrazek 7. Četnost zranění ACL u děvčat a chlapců v různém věku (Shea et al., 2004)

Stejně tak Peterson, Junge, Chomiak, Graf-Baumann, & Dvorak (2000) poukazují na nejvyšší riziko zranění u mladých fotbalistů věkové kategorie 14 – 16 let. Mezi důvody, které uvádějí, jsou nedostatky v technice a taktice, nižší svalová síla a nižší úroveň vytrvalostních schopností a koordinace. Také Lehnert et al., (2019) potvrzuje vliv věku na některé proměnné u mladých fotbalistů.

Naše výsledky poukazují na pokles LS a Rells u kategorie U16 a mohly by tedy poukazovat na faktory zvýšené riziko zranění kolenního kloubu právě u této věkové kategorie.

Reaktivní silový index

RSI hodnoty v našem výzkumném souboru klesaly s narůstajícím věkem, ale rozdíly nebyly statisticky významné. Naopak Lloyd et al. (2012) zjistili, že významný vliv věku na index reaktivní síly. Skupina 15letých i 12letých vykazovala výrazně vyšší hodnoty RSI než devíti letí sportovci. Podobně výzkum Strniste et al. (2019) popisuje významně vyšší hodnoty RSI u skupiny basketbalistů kategorie U16 ve srovnání s kategorií U14. Výsledky podporují zjištění některých předchozích studií, které poukazují na postupné zlepšování reaktivní síly během dospívání v důsledku vývoje motorické kontroly (Lloyd et al., 2012).

Jedním z faktorů podílejícím se na RSI jsou elastické vlastnosti měkkých tkání, které absorbují a následně uvolňují nashromážděnou energii. Což je pozorovatelné například při zvyšování hodnot RSI při maximálním výskoku po seskoku z vyvýšeného místa. Hodnoty RSI se zvyšují přibližně při vyvýšení seskoku mezi 20 a 35 cm. Další navyšování seskokové výšky se ve zvýšení hodnot neprojevovalo (Prieske et al., 2019). Hodnoty absorbované energie do měkkých

tkání při růstovém spurtu, který můžeme pozorovat u kategorie U14 a U16 se mohou lišit od jedinců s již dokončeným růstem (Malina & Bouchard, 1991).

Dalším faktorem přímo ovlivňujícím RSI je maximální síla. Sportovci s nižší silou mají nižší hodnoty RSI (Beattie, Carson, Lyons, & Kenny, 2017). K podobným výsledkům došli také Beckham et al. (2019), kteří doplňují, že maximální rozvoj síly by měl být prvořadým cílem tréninku sportovců.

Naše výsledky RSI měly opačnou tendenci. S vyšším věkem došlo k poklesu RSI. Rozdíly však nebyly statisticky významné. Důvodem může být skutečnost, že v našem souboru jsme testovali dívky, kde může být tendence jiná než u chlapců. Pro zobecnění tohoto závěru je však nezbytný další výzkum na větších souborech v různých sportovních disciplínách.

7 Závěry

Hlavním závěrem této studie, je že během jedno roku nedochází k významnému zlepšení nervosvalové koordinace ani reaktivní síly u skupin házenkářek kategorie U14 a U16. U skupiny kategorie U16 došlo u tuhosti končetiny k významnému poklesu sledovaných proměnných (zvýšení tuhosti), který signalizuje zhoršení koordinace. Toto zjištění je v protikladu s očekávaným nárůstem vlivem zrání a tréninku. Důvodem může být rychlý růst v daném období či případná únava. Ani jednu z hypotéz tedy nemůžeme potvrdit.

8 Souhrn

Dívky jsou více náchylné ke zranění kolenního kloubu než chlapci. Obzvláště v dorosteneckých kategoriích dochází ke zvýšení četnosti zranění, která často souvisí s úrovní nervosvalové koordinace. Z toho důvodu je hlavním cílem této bakalářské práce posoudit vliv věku na nervosvalovou koordinaci kolenního kloubu u házenkářek kategorie U14 a U16.

Výzkumu se v plném rozsahu účastnilo 16 hráček kategorie U14 a 11 hráček kategorie U16. Jedná se o hráčky DHK Zora, které se v obou věkových kategoriích účastní nejvyšší soutěže pořádaných Českým svazem házené. Hráčky podstoupily dvě testovací cvičení. Jejich měření probíhalo na začátku sezóny ve dvou po sobě následujících letech. První na kontaktním koberci (Fitronic, Bratislava, Slovensko), kde hráčky prováděly 5 maximálních vertikálních výskoků a druhé na silové plošině (Pasco, Roseville, CA, USA), kde prováděly 20 submaximálních výskoků. Z naměřených hodnot byly následně stanoveny hodnoty LS, ReLS a RSI.

Měření LS po roce ukázalo na zanedbatelné změny u kategorie U14, zatímco u kategorie U16 je pokles hodnot významný. Při výpočtu ReLS kategorie U16 byla hodnota významně vyšší u vstupního měření. Tyto hodnoty poukazují na zvýšení tuhosti dolní končetiny, které signalizují zhoršení koordinace. U obou věkových kategorií se hodnoty RSI v průběhu dvou měření významně nelišily.

Hypotézy nárustu LS a RSI s věkem nemůžeme potvrdit. Snížení hodnot LS a ReLS u kategorie U16 může být ovlivněno rychlým růstem v daném období či případnou únavou, což může mít za následek zvýšení rizika poranění kolenního kloubu.

9 Summary

Girls are more prone to have a knee-joint injury than boys. The frequency of injuries increases in adolescent categories in particular, which is often connected with the level of neuromuscular coordination. For this reason, the main aim of this bachelor thesis is to assess the influence of age on neuromuscular coordination of female handball players knee-joint, especially players of categories U14 and U16.

Totally, 16 players from category U14 and 11 players from category U16 participated in the research. These players are from DHK Zora and participate in both age categories in the highest competition organised by Czech Handball. The players underwent two measurements. The measurement took place at the beginning of the season for two consecutive years. The first task was measured by contact pad (Fitronic, Bratislava, Slovakia), where the girls performed five maximum vertical jumps. The second task was measured by force platform (Pasco, Roseville, CA, USA), where the girls performed twenty submaximum jumps. Then, from the measured values, LS, ReLS and RSI values were stipulated.

After a year, the LS measurement points out to negligible changes in category U14, whereas in category U16 there is a significant decrease of the values. While calculating ReLS in category U16, the value is higher for input measurement. These values indicate an increase in stiffness of the lower limb, which suggest a deterioration of coordination. There was no significant difference in RSI values between two measurements in both age categories.

We cannot confirm the hypothesis about the increase of LS and RSI values with age. The decrease of LS and ReLS values in category U16 may be influenced by a rapid growth in a given period or a possible fatigue, which may result in the increased risk of the knee-joint injury.

10 Referenční seznam

- Alves, J. G. B., & Alves, G. V. (2019). Effects of physical activity on children's growth. *Jornal de Pediatria*, 95, 72–78. <https://doi.org/10.1016/j.jped.2018.11.003>
- Ambler, Z. (2006). *Základy neurologie*. Praha: Galén.
- Barber-Westin, S. D., & Noyes, F. R. (2017). Effect of Fatigue Protocols on Lower Limb Neuromuscular Function and Implications for Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention Training: A Systematic Review. *The American Journal of Sports Medicine*, 45(14), 3388–3396. <https://doi.org/10.1177/0363546517693846>
- Beattie, K., Carson, B. P., Lyons, M., & Kenny, I. C. (2017). The Relationship Between Maximal Strength and Reactive Strength. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(4), 548–553. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0216>
- Beckham, G., Sole, J. C., Stone, H. M., Suchomel, J. T., Bailey, C., Grazer, J., ... Talbot, B. K. (2019). Influence of Sex and Maximum Strength on Reactive Strength Index-Modified. *Journal of Sports Science & Medicine*, 65–72.
- Bencke, J., Damsgaard, R., Saekmose, A., Jorgensen, P., Jorgensen, K., & Klausen, K. (2002). Anaerobic power and muscle strength characteristics of 11 years old elite and non-elite boys and girls from gymnastics, team handball, tennis and swimming. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 12(3), 171–178. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2002.01128.x>
- Bigland-Ritchie, B. R., Dawson, N. J., Johansson, R. S., & Lippold, O. C. (1986). Reflex origin for the slowing of motoneurone firing rates in fatigue of human voluntary contractions. *The Journal of Physiology*, 379(1), 451–459. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1986.sp016263>
- Bojić-Ćaćić, L., Vuleta, D., & Milanović, D. (2018). Position-related differences in morphological characteristics of U14 female handball players. *Kinesiology*, 50(2), 235–242. <https://doi.org/10.26582/k.50.2.12>
- Brauner, T., Sterzing, T., Wulf, M., & Horstmann, T. (2014). Leg stiffness: Comparison between unilateral and bilateral hopping tasks. *Human Movement Science*, 33, 263–272. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2013.08.009>
- Brazier, J., Bishop, C., Simons, C., Antrobus, M., Read, P. J., & Turner, A. N. (2014). Lower Extremity Stiffness. *Strength and Conditioning Journal*, 36(5), 103–112. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000094>

- Čihák, R. (2011). *Anatomie 1* (3., upr. a). Praha: Granada.
- Dai, B., Herman, D., Liu, H., Garrett, W. E., & Yu, B. (2012). Prevention of ACL Injury, Part I: Injury Characteristics, Risk Factors, and Loading Mechanism. *Research in Sports Medicine*, 20(3–4), 180–197. <https://doi.org/10.1080/15438627.2012.680990>
- Dalleau, G., Belli, A., Viale, F., Lacour, J., & Bourdin, M. (2004). A Simple Method for Field Measurements of Leg Stiffness in Hopping. *International Journal of Sports Medicine*, 25(3), 170–176. <https://doi.org/10.1055/s-2003-45252>
- De Blaiser, C., De Ridder, R., Willems, T., Vanden Bossche, L., Danneels, L., & Roosen, P. (2019). Impaired Core Stability as a Risk Factor for the Development of Lower Extremity Overuse Injuries: A Prospective Cohort Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 47(7), 1713–1721. <https://doi.org/10.1177/0363546519837724>
- De Ste Croix, M. B. A., Hughes, J. D., Lloyd, R. S., Oliver, J. L., & Read, P. J. (2017). Leg Stiffness in Female Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(11), 3052–3058. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001715>
- Dovalil, J. (1998). *Věkové zvláštnosti dětí a mládeže a sportovní trénink* (2. vydání). Praha: Karolinum.
- Dufek, J. S., & Bates, B. T. (1991). Biomechanical Factors Associated with Injury During Landing in Jump Sports. *Sports Medicine*, 12(5), 326–337. <https://doi.org/10.2165/00007256-199112050-00005>
- DUNCAN, C. S., R. BLIMKIE, C. J., KEMP, A., HIGGS, W., COWELL, C. T., WOODHEAD, H., ... HOWMAN-GILES, R. (2002). Mid-femur geometry and biomechanical properties in 15- to 18-yr-old female athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(4), 673–681. <https://doi.org/10.1097/00005768-200204000-00018>
- Egger, A. C., Oberle, L. M., & Saluan, P. (2019). The Effects of Endurance Sports on Children and Youth. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*, 27(1), 35–39. <https://doi.org/10.1097/JSA.0000000000000230>
- Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2008). Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. *The Journal of Physiology*, 586(1), 11–23. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.139477>
- Granata, K. P., Padua, D. A., & Wilson, S. E. (2002). Gender differences in active musculoskeletal stiffness. Part II. Quantification of leg stiffness during functional hopping tasks. *Journal of*

Electromyography and Kinesiology, 12(2), 127–135. [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(02\)00003-2](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(02)00003-2)

Griffin, L. Y., Agel, J., Albohm, M. J., Arendt, E. A., Dick, R. W., Garrett, W. E., ... Wojtys, E. M. (2000). Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries: Risk Factors and Prevention Strategies. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 8(3), 141–150. <https://doi.org/10.5435/00124635-200005000-00001>

Haapasalo, H., Kontulainen, S., Sievänen, H., Kannus, P., Järvinen, M., & Vuori, I. (2000). Exercise-induced bone gain is due to enlargement in bone size without a change in volumetric bone density: a peripheral quantitative computed tomography study of the upper arms of male tennis players. *Bone*, 27(3), 351–357. [https://doi.org/10.1016/S8756-3282\(00\)00331-8](https://doi.org/10.1016/S8756-3282(00)00331-8)

Hamill, J., Knutzen, M. K., & Derric, R. T. (2015). *Biomechanical basis of human movement* (4th editio). Philadelphia: Wolters Kluwer.

Hemsley, K., Sitler, M., Moyer, R., & Oatis, C. (2010). Neuromuscular and psychological influences on range of motion recovery in anterior cruciate ligament reconstruction patients. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(4), 684–692. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2009.11.006>

Herrington, L., & Nester, C. (2004). Q-angle undervalued? The relationship between Q-angle and medio-lateral position of the patella. *Clinical Biomechanics*, 19(10), 1070–1073. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2004.07.010>

Hewett, T. E., Ford, K. R., Hoogenboom, B. J., & Myer, G. D. (2010). Understanding and preventing acl injuries: current biomechanical and epidemiologic considerations - update 2010. *North American Journal of Sports Physical Therapy: NAJSPT*, 5(4), 234–251. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21655382>

Hewett, T. E., Lindenfeld, T. N., Riccobene, J. V., & Noyes, F. R. (1999). The Effect of Neuromuscular Training on the Incidence of Knee Injury in Female Athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 27(6), 699–706. <https://doi.org/10.1177/03635465990270060301>

Hewett, T. E., Myer, G. D., Ford, K. R., Heidt, R. S., Colosimo, A. J., McLean, S. G., ... Succop, P. (2005). Biomechanical Measures of Neuromuscular Control and Valgus Loading of the Knee Predict Anterior Cruciate Ligament Injury Risk in Female Athletes: A Prospective Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 33(4), 492–501.

<https://doi.org/10.1177/0363546504269591>

- Hootman, J. M., Dick, R., & Agel, J. (2007). Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: Summary and recommendations for injury prevention initiatives. *Journal of Athletic Training, 42*(2), 311–319.
- Hughes, G., & Watkins, J. (2006). A Risk-Factor Model for Anterior Cruciate Ligament Injury. *Sports Medicine, 36*(5), 411–428. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636050-00004>
- Hutchinson, M. R., & Ireland, M. L. (1995). Knee Injuries in Female Athletes. *Sports Medicine, 19*(4), 288–302. <https://doi.org/10.2165/00007256-199519040-00006>
- Ireland, M. L., Ballantyne, B. T., Little, K., & McClay, I. S. (2001). A radiographic analysis of the relationship between the size and shape of the intercondylar notch and anterior cruciate ligament injury. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, 9*(4), 200–205. <https://doi.org/10.1007/s001670100197>
- Klentrou, P. (2003). Onset of puberty, menstrual frequency, and body fat in elite rhythmic gymnasts compared with normal controls. *British Journal of Sports Medicine, 37*(6), 490–494. <https://doi.org/10.1136/bjism.37.6.490>
- Kontulainen, S. A., Macdonald, H. M., & McKay, H. A. (2006). Change in Cortical Bone Density and Its Distribution Differs between Boys and Girls during Puberty. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism, 91*(7), 2555–2561. <https://doi.org/10.1210/jc.2006-0136>
- Langmeier, M., Kttinar, O., Marešová, D., & Pokorný, J. (2009). *Základy lékařské fyziologie* (1. vydání). Praha: Granada Publishing, a.s.
- Lehnert, M., De Ste Croix, M., Šťastný, P., Maixnerová, E., Zaatari, A., Botek, M., ... Lipinska, P. (2019). *The influence of fatigue on injury risk in male youth soccer*. <https://doi.org/10.5507/ftk.19.24455587>
- Lehnert, M., Kudláček, M., Háp, P., Bělka, J., Neulus, F., Ješina, O., ... Šťastný, P. (2014). *Sportovní trénink I* (1. vydání). Univerzita Palackého v Olomouci.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & Williams, C. A. (2009). Reliability and validity of field-based measures of leg stiffness and reactive strength index in youths. *Journal of Sports Sciences, 27*(14), 1565–1573. <https://doi.org/10.1080/02640410903311572>
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & Williams, C. A. (2012). Age-related differences in the neural regulation of stretch–shortening cycle activities in male youths during maximal and

- sub-maximal hopping. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(1), 37–43.
<https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2011.09.008>
- Malina, R. M., & Bouchard, C. (1991). *Growth, Maturation, and Physical Activity*. Windsor: Human Kinetics Publishers.
- Mauras, N. (2006). Growth Hormone and Testosterone: Effects on Whole Body Metabolism and Skeletal Muscle in Adolescence. *Hormone Research in Paediatrics*, 66(1), 42–48.
<https://doi.org/10.1159/000096622>
- McCaughan, D., Booth, A., Jackson, C., Lalor, S., Ramdharry, G., O'Connor, R. J., ... McDaid, C. (2019). Orthotic management of instability of the knee related to neuromuscular and central nervous system disorders: qualitative interview study of patient perspectives. *BMJ Open*, 9(10), e029313. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-029313>
- McLean, S. G., Felin, R. E., Suedekum, N., Calabrese, G., Passerallo, A., & Joy, S. (2007). Impact of Fatigue on Gender-Based High-Risk Landing Strategies. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(3), 502–514. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3180d47f0>
- McLean, S. G., & Samorezov, J. E. (2009). Fatigue-Induced ACL Injury Risk Stems from a Degradation in Central Control. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(8), 1662–1673. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31819ca07b>
- McManus, A. M., & Armstrong, N. (2010). *Physiology of Elite Young Female Athletes*.
<https://doi.org/10.1159/000320626>
- Mohamed, E., Useh, U., & Mtshali, B. (2012). Q-angle, Pelvic width, and Intercondylar notch width as predictors of knee injuries in women soccer players in South Africa. *African Health Sciences*, 12(2). <https://doi.org/10.4314/ahs.v12i2.15>
- Myklebust, G., Engebretsen, L., Brækken, I. H., Skjølberg, A., Olsen, O.-E., & Bahr, R. (2003). Prevention of Anterior Cruciate Ligament Injuries in Female Team Handball Players: A Prospective Intervention Study Over Three Seasons. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 13(2), 71–78. <https://doi.org/10.1097/00042752-200303000-00002>
- O'Brien, T. D., Reeves, N. D., Baltzopoulos, V., Jones, D. A., & Maganaris, C. N. (2010). In vivo measurements of muscle specific tension in adults and children. *Experimental Physiology*, 95(1), 202–210. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2009.048967>
- Oliver, Jon L., De Ste Croix, M. B. A., Lloyd, R. S., & Williams, C. A. (2014). Altered neuromuscular control of leg stiffness following soccer-specific exercise. *European Journal of Applied*

- Physiology*, 114(11), 2241–2249. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2949-z>
- Oliver, Jonathan L., Lloyd, R. S., & Whitney, A. (2015). Monitoring of in-season neuromuscular and perceptual fatigue in youth rugby players. *European Journal of Sport Science*, 15(6), 514–522. <https://doi.org/10.1080/17461391.2015.1063700>
- Oshima, T., Nakase, J., Kitaoka, K., Shima, Y., Numata, H., Takata, Y., & Tsuchiya, H. (2018). Poor static balance is a risk factor for non-contact anterior cruciate ligament injury. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 138(12), 1713–1718. <https://doi.org/10.1007/s00402-018-2984-z>
- Padua, D. A., Carcia, C. R., Arnold, B. L., & Granata, K. P. (2005). Gender Differences in Leg Stiffness and Stiffness Recruitment Strategy During Two-Legged Hopping. *Journal of Motor Behavior*, 37(2), 111–126. <https://doi.org/10.3200/JMBR.37.2.111-126>
- Peterson, L., Junge, A., Chomiak, J., Graf-Baumann, T., & Dvorak, J. (2000). Incidence of Football Injuries and Complaints in Different Age Groups and Skill-Level Groups. *The American Journal of Sports Medicine*, 28(5_suppl), 51–57. https://doi.org/10.1177/28.suppl_5.s-51
- Petushek, E. J., Sugimoto, D., Stoolmiller, M., Smith, G., & Myer, G. D. (2019). Evidence-Based Best-Practice Guidelines for Preventing Anterior Cruciate Ligament Injuries in Young Female Athletes: A Systematic Review and Meta-analysis. *The American Journal of Sports Medicine*, 47(7), 1744–1753. <https://doi.org/10.1177/0363546518782460>
- Prieske, O., Chaabene, H., Puta, C., Behm, D. G., Büsch, D., & Granacher, U. (2019). Effects of Drop Height on Jump Performance in Male and Female Elite Adolescent Handball Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(5), 674–680. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2018-0482>
- Rapoport, S., Mizrahi, J., Kimmel, E., Verbitsky, O., & Isakov, E. (2003). Constant and Variable Stiffness and Damping of the Leg Joints in Human Hopping. *Journal of Biomechanical Engineering*, 125(4), 507–514. <https://doi.org/10.1115/1.1590358>
- Raschner, C., Platzer, H.-P., Patterson, C., Werner, I., Huber, R., & Hildebrandt, C. (2012). The relationship between ACL injuries and physical fitness in young competitive ski racers: a 10-year longitudinal study. *British Journal of Sports Medicine*, 46(15), 1065–1071. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091050>
- Riemann, B. L., & Lephart, S. M. (2002a). The sensorimotor system, part I: the physiologic basis of functional joint stability. *Journal of Athletic Training*, 37(1), 71–79. Retrieved from

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16558670>

- Riemann, B. L., & Lephart, S. M. (2002b). The Sensorimotor System, Part II: The Role of Proprioception in Motor Control and Functional Joint Stability. *Journal of Athletic Training*, 37(1), 80–84. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16558671>
- Ronglan, L. T., Raastad, T., & Borgesen, A. (2006). Neuromuscular fatigue and recovery in elite female handball players. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 16(4), 267–273. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00474.x>
- Rosa, B. B., Asperti, A. M., Helito, C. P., Demange, M. K., Fernandes, T. L., & Hernandez, A. J. (2014). Epidemiology of sports injuries on collegiate athletes at a single center. *Acta Ortopédica Brasileira*, 22(6), 321–324. <https://doi.org/10.1590/1413-78522014220601007>
- Sasaki, S., Tsuda, E., Yamamoto, Y., Maeda, S., Kimura, Y., Fujita, Y., & Ishibashi, Y. (2019). Core-Muscle Training and Neuromuscular Control of the Lower Limb and Trunk. *Journal of Athletic Training*, 54(9), 959–969. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-113-17>
- Serpell, B. G., Scarvell, J. M., Ball, N. B., & Smith, P. N. (2012). Mechanisms and Risk Factors for Noncontact ACL Injury in Age Mature Athletes Who Engage in Field Or Court Sports. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(11), 3160–3176. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318243fb5a>
- Shambaugh, J. P., Klein, A., & Herbert, J. H. (1991). Structural measures as predictors of injury basketball players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(5), 522–527. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1906569>
- Shea, K. G., Pfeiffer, R., Wang, J. H., Curtin, M., & Apel, P. J. (2004). Anterior Cruciate Ligament Injury in Pediatric and Adolescent Soccer Players: An Analysis of Insurance Data. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 24(6), 623–628. <https://doi.org/10.1097/01241398-200411000-00005>
- Simon, R. A., Everhart, J. S., Nagaraja, H. N., & Chaudhari, A. M. (2010). A case-control study of anterior cruciate ligament volume, tibial plateau slopes and intercondylar notch dimensions in ACL-injured knees. *Journal of Biomechanics*, 43(9), 1702–1707. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2010.02.033>
- Strniste, M., Hulka, K., Lehnert, M., Maixnerova, E., Varekova, R., & Lazecka, S. (2019). Neuromuscular control of the knee joint during basketball season in male youth players.

- Acta Gymnica*, 49(3), 125–131. <https://doi.org/10.5507/ag.2019.011>
- Struzik, A., & Zawadzki, J. (2016). Application of force-length curve for determination of leg stiffness during a vertical jump. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 18(2), 163–171. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27406469>
- Tsigilis, N., & Hatzimanouil, D. (2005). Injuries in handball: Examination of the risk factors. *European Journal of Sport Science*, 5(3), 137–142. <https://doi.org/10.1080/17461390500221610>
- Uhorchak, J. M., Scoville, C. R., Williams, G. N., Arciero, R. A., Pierre, P. St., & Taylor, D. C. (2003). Risk Factors Associated with Noncontact Injury of the Anterior Cruciate Ligament. *The American Journal of Sports Medicine*, 31(6), 831–842. <https://doi.org/10.1177/03635465030310061801>
- Wells, J. C. K. (2007). Sexual dimorphism of body composition. *Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism*, 21(3), 415–430. <https://doi.org/10.1016/j.beem.2007.04.007>
- Whyte, E. F., Richter, C., O'Connor, S., & Moran, K. A. (2018). Effects of a dynamic core stability program on the biomechanics of cutting maneuvers: A randomized controlled trial. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(2), 452–462. <https://doi.org/10.1111/sms.12931>
- Zatsiorsky, V. M., & Kraemer, W. J. (2014). *Silový trénink. Praxe a věda*. Mladá fronta.