

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury

VLIV ZATÍŽENÍ, ZATĚŽOVÁNÍ A VĚKU NA NEUROMUSKULÁRNÍ
ŘÍZENÍ KOLENNÍHO KLOUBU U MLADÝCH FOTBALISTŮ

Disertační práce

Autor: Mgr. Eliška Maixnerová

Pracoviště: Fakulta tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci

Školitel: doc. PaedDr. Michal Lehnert, Dr.

Olomouc 2020

Jméno a příjmení autora: Mgr. Eliška Maixnerová
Název disertační práce: Vliv zatížení, zatěžování a věku
na neuromuskulární řízení kolenního kloubu
u mladých fotbalistů
Pracoviště: Katedra sportu
Školitel: doc. PaedDr. Michal Lehnert, Dr.
Rok obhajoby disertační práce: 2020
Abstrakt:

Nevhodné zatížení a zatěžování spolu s růstem a zráním během dospívání fotbalistů má negativní vliv na neuromuskulární řízení kolenního kloubu a může vést ke zvýšení rizika poranění tohoto kloubu. Cílem této studie bylo posoudit změny neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu jako rizikového faktoru zranění v průběhu sportovní přípravy fotbalistů v období adolescence. Změny nervosvalového řízení stability kolenního kloubu byly sledovány ve třech dílčích studiích – 1. po soutěžní utkání, 2. v průběhu soutěžního období ročního tréninkového cyklu a 3. ve třech ročních tréninkových cyklech ve dvou věkových kategoriích U14 a U16. Ve všech třech dílčích studiích se neuromuskulární řízení hodnotilo pomocí testu opakovaných submaximálních vertikálních skoků z místa k určení tuhosti dolních končetin a testu 5 maximálních vertikálních skoků z místa k určení reaktivního silového indexu. Výsledky první dílčí studie ukázaly, že zatížení v soutěžním utkání nesnižovalo tuhost dolních končetin, ale snižovalo reaktivní sílu dolních končetin. Výsledky druhé dílčí studie ukázaly, že u hráčů nedocházelo ke kumulaci únavy na konci soutěžního období. Výsledky třetí dílčí studie ukázaly, že během tří sledovaných tréninkových cyklů došlo k nárůstu absolutní, relativní tuhosti dolních končetin i reaktivní síly dolních končetin u fotbalistů kategorií U14 a k nárůstu reaktivní síly dolních končetin u kategorie U16. Výsledky práce poskytují informace o změnách neuromuskulárního řízení kolenního kloubu v souvislosti se zatížením, zatěžováním a vývojem hráčů a ukazují, že tyto aspekty je vhodné brát v úvahu v průběhu sportovní přípravy mládeže.

Klíčová slova: Mládež, fotbal, zranění, únava, růst, zrání, svalová tuhost, reaktivní síla

Disertační práce byla zpracována s podporou vědeckého grantu Grantové agentury ČR "Accumulated effects of fatigue on neuromuscular control of the knee and injury risk in youth athletes during growth and maturation" (č. 16-13750S).

Souhlasím s půjčováním disertační práce v rámci knihovnických služeb.

Author's first name and surname: Mgr. Eliška Maixnerová
Title of doctoral thesis: The influence of load, loading and age on neuromuscular control of the knee joint control in youth male soccer players
Department: Department of Sport
Supervisor: doc. PaedDr. Michal Lehnert, Dr.
Year of thesis defence: 2020

Abstract:

Inappropriate load and loading, along with growth and maturation during adolescence, have a negative effect on the neuromuscular control of the knee joint and may increase the risk of injury to the joint. The aim of this study was to assess changes in the neuromuscular control of knee stability as a risk factor of injuries during sports training in soccer during adolescence. Changes in the neuromuscular control of knee joint stability were observed in three sub-studies - 1. after competitive match, 2. during competitive period of annual training cycle, and 3. in three consecutive competitive period of annual training cycle in two different age categories U14 and U16. In all three sub-studies, neuromuscular control was evaluated using the repeated submaximal vertical jumps to determine leg stiffness and the 5 maximum vertical jumps to determine reactive strength index. The results of the first study show that the load in the competitive match does not decrease leg stiffness but decrease reactive strength index. The results of the second study show that there was no accumulated fatigue at the end of the competitive period. The results of the third study show that during the three consecutive competitive period of annual training cycle absolute, relative leg stiffness is increased in U14 and reactive strength index is increased in U14 and U16 soccer players.

Key words: Youth, soccer, injury, fatigue, growth, maturation, leg stiffness, reactive strength

The doctoral dissertation was supported by the research grant of the Czech Science Foundation "Accumulated effects of fatigue on neuromuscular control of the knee and injury risk in youth athletes during growth and maturation" (No. 16-13750S).

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

Prohlašuji, že jsem disertační práci zpracovala samostatně pod vedením školitele doc. PaedDr. Michala Lehnerta, Dr., uvedla všechny použité literární a odborné zdroje a dodržovala zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 8. 6. 2020

Děkuji doc. PaedDr. Michalu Lehnertovi, Dr. za jeho vedení, čas a odborný dohled při zpracování práce. Ráda bych také poděkovala prof. Mgr. Eriku Sigmundovi, Ph.D. a Mgr. Zdeňku Svobodovi, Ph.D. za rady při zpracování získaných dat. Dále děkuji za podporu členům Katedry přírodních věd v kinantropologii i ostatním kolegům za jejich neocenitelnou pomoc. Rovněž děkuji hráčům a vedení klubu SK Sigma Olomouc za vstřícnost a ochotu se zapojit do výzkumu. Velké díky patří rodině a přátelům a také kavárně Trouble Cafe za skvělé studijní podmínky.

OBSAH

1	ÚVOD	11
2	PŘEHLED POZNATKŮ	14
2.1	Epidemiologie a mechanismus zranění kolenního u sportující mládeže	14
2.1.1	Výskyt zranění při fotbalovém utkání	16
2.1.2	Výskyt zranění během ročního tréninkového cyklu ve fotbale	17
2.1.2.1	Periodizace ročního tréninkového cyklu	17
2.1.3	Výskyt zranění během sportovní přípravy mládeže ve fotbale	21
2.1.3.1	Etapy sportovní přípravy	23
2.2	Rizikové faktory poranění předního zkříženého vazů	25
2.2.1	Funkční anatomie kosterních svalů kolenního kloubu	25
2.2.2	Biomechanika pohybu	28
2.2.3	Vývojová kineziologie	29
2.2.4	Kineziologie kolenního kloubu	30
2.2.5	Anatomicko-neurofyziologické aspekty předního zkříženého vazů	32
2.2.6	Rizikové faktory poranění předního zkříženého vazů a jejich členění	33
2.2.7	Neuromuskulární řízení, koordinace a rizikové faktory poranění předního zkříženého vazů	35
2.2.7.1	Řízení hybnosti	35
2.2.7.2	Neuromuskulární koordinace	36
2.2.7.3	Růst a zrání	38
2.2.8	Hodnocení neuromuskulárního řízení pomocí vertikálních skoků	40
2.2.8.1	Vertikální skok	40
2.2.8.2	Pružinový model	42
2.2.8.3	Tuhost dolních končetin a její změny v souvislosti s únavou a ontogenetickým vývojem	43

2.2.8.4	Reaktivní silový index a jeho změny v souvislosti z únavou a ontogenetickým vývojem	47
2.2.9	Preventivní programy	49
2.3	Únava a zotavení	49
2.3.1	Neurofyziologické mechanismy únavy, vliv na svalová vlákna	50
2.3.2	Metody hodnocení únavy	51
2.3.3	Zotavení.....	54
2.3.4	Regenerace v praxi	56
2.4	Shrnutí syntézy poznatků.....	57
3	CÍLE PRÁCE	58
4	METODIKA	60
4.1	Výzkumný soubor.....	60
4.2	Design studií	65
4.3	Metodika sběru dat	66
4.3.1	Statistická analýza dat	69
5	VÝSLEDKY.....	71
5.1	Studie zaměřená na změny neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu po soutěžním utkání	71
5.2	Studie zaměřená na změny neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu v průběhu soutěžního období	73
5.3	Studie zaměřená na změny neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu během růstu a zrání	74
6	DISKUSE	76
6.1	Studie změn neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu po soutěžním utkání	77
6.2	Studie změn neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu v průběhu soutěžního období	81

6.3	Studie změn neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu během růstu a zrání	85
7	ZÁVĚRY	90
7.1	Závěry vzhledem k vlastnímu výzkumnému problému	90
7.2	Závěry a doporučení pro vědní obor.....	91
7.3	Doporučení pro praxi.....	93
8	SOUHRN.....	94
9	SUMMARY.....	96
10	REFERENČNÍ SEZNAM	98
11	SEZNAM PŘÍLOH	117

Seznam zkratek

ALS	absolutní tuhost dolních končetin
d	koeficient Cohenovo d
DK, DKK	dolní končetina, dolní končetiny
LCA	přední zkřížený vaz, ligamentum cruciatum anterior
LS	tuhost dolních končetin
M	aritmetický průměr
<i>M</i>	tělesná hmotnost
n	počet
<i>p</i>	hladina statistické významnosti
PHV	vrchol růstového spurtu, peak hight velocity
RLS	relativní tuhost dolních končetin
RSI	reaktivní silový index
RTC	roční tréninkový cyklus
SD	směrodatná odchylka
SO	soutěžní období
SSC	cyklus natažení a zkrácení svalu, stretch-shortening cycle
Tc	doba kontaktu
Tf	doba letu
U14, U15, U16, U17, U18	věková kategorie do 14, 15, 16, 17, 18 let
VAS	vizuální analogová škála, visual analogue scale
π	matematická konstanta
η^2	koeficient eta squared

Jednotky:

m – metr; cm – centimetr; mm – milimetr; kg – kilogram; hod. - hodina; min. – minuta;
s – sekunda; ms - milisekunda; N – newton; $\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$ – kilonewton na metr; l - litr

1 ÚVOD

Zranění ve sportu je vždy nežádoucí a má vliv na další tréninky sportovce. Délka pauzy způsobená zraněním může mít zásadní vliv na pokračování sportovce v jeho kariéře, a to nejen ve výkonnostní složce, ale také finanční (Deehan, Bell, & Mc Caskie, 2007). Zranění se nevyhýbá ani mládeži, sport se vyvíjí a prokazuje se, že již v útlém věku se objevují mnohá zranění. Zranění ve sportu se dle studií stává celosvětovým fenoménem (Alentorn-Geli et al., 2009; Anderson, Wasserman, & Shultz, 2019; Ekstränd, Hägglund, & Waldén, 2009; Kujala et al., 1995; Silver & Mandelbaum, 2006). V roce 2004 bylo na chirurgických odděleních v České republice evidováno 132 152 sportovních úrazů za rok. Děti ve věku 12–16 let byly označeny za nejvíce rizikovou skupinu (Truellová, 2007). Z dlouholeté studie Henke, Luig, & Schulz (2014) vyplynulo, že 2/3 sportovních úrazů tvoří úrazy ze sportovních her.

Sportovní hrou, ve které je evidováno nejvíce úrazů (45,8 %) je fotbal. Současná literatura uvádí, že dojde k 8 zraněním zhruba za každých 1 000 hod. (Ekstränd, Hägglund, & Waldén, 2009). Jelikož se jedná o týmový sport, objevují se v něm různé odlišnosti oproti individuálnímu sportu (Henke, Luig, & Schulz, 2014). V týmových sportech se setkáváme s kontaktními zraněními, které se vyznačují srážkou dvou hráčů, nebo dojde k jinému kontaktu, k němuž nedochází v individuálních sportech. Avšak ve fotbale se ukazuje, že převládají nekontaktní zranění. Jednou z hlavních postižených lokalit je oblast kolenního kloubu (Pfirrmann, Herbst, Ingelfinger, Simon, & Tug, 2016). Mezi časté poranění kolene patří poranění předního zkříženého vazů (LCA), které je spojeno s nejdelsí tréninkovou pauzou potřebnou k rekonvalescenci a je predisponující k následným komplikacím jako jsou degenerativní změny (Alentorn-Geli et al., 2009). Statistiky uvádí, že 82 % operací LCA je zapříčiněno sportovními úrazy (Mašát, Dylevský, & Havlas, 2005). Prevence tohoto zranění by mohla přispět ke snížení sociálního a ekonomického dopadu na sportovce i společnost (Deehan et al., 2007).

Nekontaktní zranění mohou mít různé důvody. Současná literatura popisuje vzájemně překrývající se rizikové faktory jako jsou přetrénování, nedostatečná doba zotavení, neadekvátní zatížení, vysoký počet tréninků či utkání (Couotts, Slattery, & Wallace, 2007). V případě krátkodobějšího narušení či překročení nároků na organismus se jedná o tzv. akutní únavu. Ukazuje se, že četnost zranění, právě v souvislosti s nadměrným zatížením (utkání),

má ještě jeden indikátor, který ovlivňuje jeho výskyt. Jedná se o délku strávenou na hřišti. Studie ukazují, že výskyt zranění je přímo úměrný délce strávené na hřišti. Nejvyšší výskyt se objevuje ke konci každého poločasu bez vztahu k postu hráče (Engström, et al., 1990; Read, Oliver, De Ste Croix, Myer, & Lloyd, 2018a).

Všechny výše zmíněné rizikové faktory následně mohou vést, v případě dlouhodobějšího špatného nastavení zatěžování během ročního tréninkového cyklu, (RTC) ke kumulaci únavy (Taylor, Chapman, Cronin, Newton, & Gill, 2012). Neadekvátní zatěžování bez dostatečného zotavení vede k přetížení nebo k syndromu přetrénování, který je spojován s mnoha funkčními změnami v těle, projevuje se při výkonu a způsobuje zranění (Meeusen et al., 2012). Ukazuje se, že delší tréninková doba je nejen spojena s vyšším výkonem týmu, ale také s vyšším rizikem poranění (Manzi et al., 2010). Nejrizikovějším obdobím pro výskyt zranění je konec přípravného období a konec RTC (Engström, et al., 1990). Proto by trenéři měli zařazovat do RTC vhodné nástroje, které sledují tréninkové zatížení a únavu během celého RTC. Tento krok by měl optimalizovat tréninkovou adaptaci, snížit kumulovanou únavu a pomoci sportovcům dosáhnout nejvyšší možné sportovní výkonnosti (Edwards et al., 2018).

Ve snaze o zachování zdraví sportovců a možnosti jim poskytnout trénink a kariérní růst, je na místě operacionalizace a kvantifikace tréninkového a soutěžního zatížení a zatěžování. Následně pak může docházet ke skupinové nebo individuální úpravě tréninkového plánu.

Na tréninkový plán u hráčů mládežnických kategorií má také vliv individuální růst a zrání, které v kombinaci se zatížením navíc zvyšují nároky na mladý organismus. Oba tyto faktory hrají důležitou roli v rozvoji dovedností a zlepšení výkonu během samotného vývoje sportovce. Kromě akutního zranění mohou růst a zrání způsobit ve svém důsledku také následné zranění. Obdobně jako u únavy, i zde hraje klíčovou roli správná manipulace se zatížením a zotavením (Radnor et al., 2018). Proto je potřeba v období růstu a zrání monitorovat a ovlivňovat zatížení hráčů a pracovat s poměrem zatížení:zotavení, aby se dalo předejít zraněním spojeným s únavou. Existuje mnoho nástrojů, které se používají k hodnocení únavy jako jsou sledování tepové frekvence nebo biochemický monitoring. Nejvíce se však doporučují rychlé, jednoduché, nenáročné nástroje jako jsou tzv. self-report dotazníky monitorující únavu (Taylor et al., 2012). Nicméně ve srovnání s individuálními sporty (cyklistika, běh, běh na lyžích) je mnohem těžší vytvořit optimální tréninkové zatížení založené na vztahu mezi únavou a výkonem v týmových sportech, protože výsledek utkání

je kromě samotného sportovního výkonu ovlivněn mnoha dalšími faktory (Taylor et al., 2012). Dalším nástrojem je hodnocení neuromuskulární funkce, což je oblast spadající mezi rizikové faktory. K hodnocení je možné využít různé vertikální skoky, které mimo jiné mohou hodnotit cyklus natažení a zkrácení svalu, tzv. stretch-shortening cycle (SSC; Ramirez-Campillo et al., 2018).

Na mechanismu zranění se podílí tři skupiny rizikových faktorů. Jsou jimi anatomické a hormonální rizikové faktory, které nelze ovlivnit a neuromuskulární faktory, které jsou modifikovatelné. Zhoršení neuromuskulárního řízení v důsledku únavy organismu je jedním z neuromuskulárních faktorů, který může vést ke zranění (Anderson et al. 2019). Neuromuskulární řízení a biomechanika pohybu zahrnují svalovou sílu včetně reaktivní síly, rychlost aktivace svalů, tuhost dolních končetin a strategii řízení pohybu a kloubů (Padua, Arnold, Perrin & Gansneder, 2006). Vzhledem k tomu, že se jedná o modifikovatelné rizikové faktory, je rovněž důležité pochopit účinky únavy související s věkem, aby mohli trenéři zabránit kumulaci únavy, která může zvyšovat riziko zranění. Současná literatura uvádí nástroje pro posouzení neuromuskulárního řízení: absolutní tuhost dolních končetin (ALS), relativní tuhost dolních končetin (RLS) a reaktivní silový index (RSI; Suchomel, Bailey, Sole, Grazer & Beckham, 2015). Díky těmto indikátorům zjišťujeme, zda nedochází ke změnám neuromuskulárního řízení, které by následně mohly ovlivňovat výskyt poranění nejen LCA, ale i hlezenního kloubu nebo třísla (Dallinga, Benjaminse & Lemmink, 2012). Sledování výše zmíněných rizikových indikátorů neuromuskulárního řízení může být využito pro získání informací o stavu hráče po utkání, během soutěžního období a k zaznamenávání změn souvisejících s růstem a zráním.

V současné době je nedostatek studií, které by byly zaměřeny na problematiku neuromuskulárního řízení kolenního kloubu u mladých fotbalistů. Záměrem disertační práce je přispět k získání nových poznatků o této problematice u mládeže využitelných v prevenci zranění. Současně by tyto poznatky mohly částečně přispět ke zvýšení informovanosti o rizikových faktorech zranění u mladých fotbalistů v důležitém období růstu a zrání.

2 PŘEHLED POZNATKŮ

Fotbal je kolektivní míčová hra, ve které se kombinují akce s vysokou intenzitou zatížení jako je běh, změna směru pohybu, zastavení, skoky a kopy (Bangsbo, Iaia, & Krusturp, 2007). Navíc je to pravděpodobně jeden z nejvíce populárních sportů na světě u dospívající mládeže (Psotta, 2006). Při fotbalovém utkání, které trvá 2x45 min., hráči naběhají 10-12 km. Uběhnutá vzdálenost se liší dle pozice: útočníci naběhají v průměru 10,48km, středopolaři 11,0 km, krajní obránci 10,98 km a střední obránci 9,74 km (Novák, 2013). Během utkání hráč provede každých 5-6 s 1 000-1 500 změn pohybu. (Novák, 2013). Jiná studie poukazuje na 727 ± 203 obrátů (Bloomfield, Polman, & O'Donoghue, 2007).

Fotbal je komplexní kontaktní sport, který zahrnuje relativně vysoká rizika a míru zranění u profesionálů (Hawkins & Fuller, 1999; Hawkins et al., 2001), amatérů (Junge, Cheung, Edwards, & Dvorak, 2004) a mládeže (Deehan et al., 2007; Gall et al.; Hawkins et al., 2001) během tréninku a utkání. Dnešní fotbalisté jsou rychlejší a v závislosti na důležitosti utkání také agresivnější než v minulosti. Proto nároky na úroveň tělesné kondice a zařazení intenzivnějšího tréninku jsou vyšší (Andersen, Tenga, Engebretsen, & Bahr, 2004). Vzhledem k prestiži tohoto sportu a mezinárodního postavení se zvyšuje také tlak na duševní, mentální a fyzickou stránku profesionálních fotbalistů, což zvyšuje riziko zranění (Williams & Reilly, 2000).

2.1 Epidemiologie a mechanismus zranění kolenního u sportující mládeže

Zranění limituje sportovce v další tréninkové činnosti a v podávání sportovních výkonů. Riziko zranění se vyskytuje ve všech sportech, ve všech věkových kategoriích a na všech výkonnostních úrovních.

Zranění ve fotbale se objevuje v 87 % na dolních končetinách, konkrétně se jedná o natažení zadní strany stehů (17 %), poranění kolenních vazů (5 %), podvrtnutí kotníku (7 %) nebo obtíže s kyčelním kloubem a tříselem (9 %), ostatní zranění se vyskytují na dalších částech lidského těla. Může se jednat o nově vzniklé poranění nebo o znovuobnovení dřívějšího zranění, které se vyskytuje ve 12 %. Obnovená zranění vyžadují delší rekonvalescenci než prvotní zranění (24 dní oproti 18 dnům; Ekstrand et al., 2009). Kujala et al. (1995) sledovali sportovce z řad odvětví a zjistili, že zranění kolene bylo nejčastější

příčinou, která vedla k ukončení sportovní činnosti (především v týmových sportech, karate a judu).

Zranění ve sportu mohou být buď kontaktní, nebo nekontaktní (Read, Oliver, De Ste Croix, Myer, & Lloyd, 2016). Nejvyšší incidence poranění LCA je u sportující mládeže ve sportech, které obsahují rotační pohyby jako je fotbal, basketbal a házená (Lohmander, Englund, Dahl, & Roos, 2007). Studie Anderson et al. (2019) ukázala, že únava zvyšuje počet jak kontaktních, tak nekontaktních poranění LCA. Sledovala sportovce fotbalu, lakrosu a basketbalu a výskyt nekontaktních zranění byl v 60 % všech zranění (fotbal - 26 %). Tyto týmové sporty mají vysoké nároky na dynamickou stabilitu dolních končetin při kličkách, zpomalení a skocích (Mandelbaum et al., 2005). Jako mechanismus nekontaktního poranění LCA se ve fotbale specificky objevují dva typy pohybu: dopad na jednu dolní končetinu a rychlá změna směru pohybu zahájená na jedné dolní končetině (Granata, Padua, & Wilson, 2002; Hughes & Watkins, 2006). U obou typů pohybu se uplatňuje obecný mechanismus úrazu, který se skládá ze zrychlení a zpomalení pohybu. Vzhledem k charakteristickým rysům pohybu se úrazy tohoto typu více objevují např. u basketbalu než fotbalu (Hewett, Myer, & Zazulak, 2008). Podle jiných studií takto vzniklá zranění mohou tvořit až v 70 % všech zranění (Alentorn-Geli et al., 2009; Silver & Mandelbaum, 2006).

První krok v prevenci zranění je epidemiologická analýza (van Mechelen, Hlobil, & Kemper, 1992). Tato analýza je potřebná u sportující mládeže, jelikož ovlivňujícími faktory mohou být růst a zrání (Price, Hawkins, Hulse, & Hodson, 2004). Znalost zastoupení zatížení vysoké intenzity, která je pro sportovní výkon v mnoha sportech nezbytná, je důležitou součástí záznamů pohybového výkonu, protože tyto informace mohou pomoci odhalit zvyšující se riziko zranění (Parkkari, Pasanen, Manila, Kannus, & Rimpelä, 2008). U elitních mladých fotbalistů v průměrném věku 13,5 let bylo zjištěno, že více jak dvě třetiny všech zranění jsou zranění měkkých tkání (pohmoždění, podvrtnutí, natažení) vzniklá během soutěžního období, způsobující více jak čtvrtinu absence či přerušení sportovního tréninku (Deehan et al., 2007).

Dalším důvodem pro potřebu analýzy informací o zranění je zlepšení preventivních strategií a následná možnost redukce svalových poranění v této části populace. Bohužel mapování epidemiologie je stále primárně zaměřeno na dospělé fotbalisty, nikoli na mládež (Waldén, Häggglund, Werner, & Ekstrand, 2011). Proto je potřeba rozšířit povědomí o analýze zranění u mladých fotbalistů, kde právě růst a zrání mohou výrazně ovlivňovat výskyt zranění.

2.1.1 Výskyt zranění při fotbalovém utkání

Během utkání hráč z 19 % hrací doby stojí, ze 42 % chodí, ze 17 % kluše, ze 17 % běží, z 1,5 % hrací doby sprintuje a ze 3,5 % se věnuje dalším činnostem (Mohr, Krustруп, & Bangsbo, 2003). Průměrná srdeční frekvence hráče během utkání byla u dospělých hráčů 171 tepů/min. v prvním poločase, ve druhém pak 164 tepů/min., což odpovídá 80-90% maximální tepové frekvence (Novák, 2013).

Počet poranění v prvním poločase byl u fotbalistů 38, z toho 12 nekontaktních a ve druhém poločase byl 41, z toho 14 nekontaktních (Anderson et al., 2019). Limitou této studie je, že se nezaměřovala na konkrétní časy, pouze porovnávala rozdíly mezi prvním a druhým poločasem, které byly minimální. Jiná studie hodnotila výskyt zranění v utkání i tréninku a tento výskyt byl v průběhu sedmileté studie stabilní bez statistických rozdílů (Waldén et al., 2011).

Studie ukazují, že zvýšené riziko se objevuje ke konci utkání, kdy trvá zatížení již nějakou dobu a zranění by mohlo být přičítáno únavě. Konkrétně studie hovoří o koncích obou poločasů (Ekstrand et al., 2009). Omezení pasivní stability (např. zvýšením laxicity vaziva) a průvodní změny biomechaniky, které byly sledovány prvních 15-20 min. poukazují na to, že změny vyvolané únavou se objevují až později jako odpověď na cvičení s vysokou intenzitou a dlouhým trváním. I přesto, že únavou a laxitou vyvolané biomechanické změny byly zaznamenány více u žen, všichni sportovci vykazující únavu měli sníženou isometrickou i koncentrickou akci, svalovou sílu, dráždivost reflexů a neuromuskulární dráždivost (Anderson et al., 2019).

Únava snižuje neuromuskulární řízení dynamických stabilizátorů kolenního kloubu který je pak častěji v pozici, kdy jsou šlachy a vazivové struktury pod velkým tlakem, což může vést k poranění předního zkříženého vazů (LCA; Rozzi, Lephart, & Fu, 1999). Dalším důvodem vyšší četnosti zranění ke konci utkání může být samotné období velkých růstových změn a průběh puberty mladých sportovců (Rumpf & Cronin, 2012). Sedmiletá studie Ekstrand et al. (2009) došla k závěru, že každých 1 000 hod. se stane $8 \pm 3,4$ zranění, která se ve většině případů stanou během utkání, nikoli při tréninku ($27,5 \pm 10,8/1\ 000$ hod. versus $4,1 \pm 2,0/1\ 000$ hod.) a 21 % zranění v utkání bylo po faulu (dle rozhodčího).

Tento výskyt může být spojován s vysokou intenzitou zatížení a zhoršením techniky během utkání v důsledku únavy (Bangsbo et al., 2007). Rumpf a Cronin (2012) poukazují na to, že u hráčů s nízkým stupněm dovedností a méně zkušených hráčů ve srovnání s hráči

s vysokým stupněm dovedností a zkušenostmi dojde s větší pravděpodobností ke zranění. Dále upozorňují na nutnost vhodného rozcvičení, a to nejen před utkáním, ale i před tréninkem, které korespondují s menším počtem zranění, stejně jako u kvalitnějšího tréninku.

2.1.2 Výskyt zranění během ročního tréninkového cyklu ve fotbale

V průběhu fotbalového RTC roku 2014 – 2015 bylo monitorováno 608 elitních mládežnických fotbalistů ve věku 11 až 18 let ze šesti akademií profesionálních fotbalových klubů Anglie. Výskyt zranění byl 1,32 zranění na hráče během jednoho RTC s dobou v průměru 21,9 dní, kdy musel hráč vynechat trénink. Největší časová ztráta tréninku kvůli jednomu zranění byla v kategoriích U14 až U15, kdy nejvyšší míra vážných zranění byla v U15 (Read et al., 2018a).

Většinou se objevují dvě zranění na hráče za jeden RTC, kdy náhlá traumata a natažení hamstringů se objevují častěji v soutěžním období a zranění v důsledku nepřiměřeného zatížení a zatěžování se více vyskytují během přípravného období. V průměru hráč vynechal 37 dní kvůli zranění každý RTC (Ekstrand et al., 2009).

Nejvyšší četnost všech zranění během RTC se ukazuje v září a lednu, což může být způsobeno kumulovanou únavou na konci přípravného období v září (Anderson et al., 2019; Read et al., 2018) a po podzimní části RTC v lednu (Read et al., 2018a) nebo na začátku jarní části v březnu (Deehan et al., 2007). K jinému výsledku došla studie Anderson et al. (2019), která se věnovala konkrétně incidenci nekontaktních poranění LCA a zaznamenala v průběhu soutěžního období RTC 39 fotbalistů s poraněním, 17 před začátkem soutěžního období a jednoho zraněného na konci soutěžního období. Důležitou roli hraje tréninkové i soutěžní zatížení, zvláště jeho intenzita a doba. V případě, že jsou mladí fotbalisté vystavováni velkým objemům a intenzitě během fotbalových tréninků, může však dojít k nárůstu rizika poranění v jakémkoliv období (Pfirrmann et al., 2016). Ukazuje se, že poranění LCA je spíše záležitostí kumulované únavy než pouze jednorázového zatížení. Kumulovaná únava by mohla být zvýšena, pokud by kvůli únavě byla narušena dynamická stabilita (Anderson et al., 2019).

2.1.2.1 Periodizace ročního tréninkového cyklu

Působení na sportovce v průběhu tréninkového procesu by mělo být systematickou a dlouhodobou záležitostí, při které je respektována řada zákonitostí. Uvedený požadavek se organizačně řeší jeho dlouhodobým členěním na etapy sportovního tréninku a dále promyšleným členěním tréninkového procesu na různě dlouhé tréninkové cykly a jejich

opakováním, a to s ohledem na kategorii, tréninkové období, výkonnost, systém soutěží apod. Tréninkový cyklus představuje časově uzavřený celek tréninkového procesu, v němž se řeší jeden nebo více tréninkových úkolů, které na sebe vzájemně navazují. Dle délky jednotlivých cyklů rozlišujeme tréninkové mikrocykly, mezocykly a makrocykly (Lehnert et al., 2014).

Mikrocykly trvají několik dní, nejčastěji však týden. Každá tréninková jednotka mikrocyklu má svůj hlavní cíl a zařazení z dlouhodobějšího hlediska. Má specifický obsah a poměr zatížení a odpočinku, velikost zatížení a bere ohledy na akutní stav trénovanosti sportovce. Mikrocykly jsou základním stavebním kamenem tréninkové činnosti, proto se snaží přispívat k vytváření předpokladů pro plánované změny trénovanosti. Dle charakteristiky každého mikrocyklu rozlišujeme mikrocykly: úvodní, rozvíjející, stabilizační, relaxační, vylad'ovací, soutěžní, regenerační a kontrolní. Mezocykly jsou období několika mikrocyklů s různými úkoly, specifikací a délkou. Zatížení v mezocyklu vytváří a udržuje specifické adaptace (metabolické, strukturální, funkční), které jsou potřebné k ovlivnění trénovanosti a sportovní výkonnosti vždy vzhledem k tvorbě sportovní formy. Makrocykly jsou období několika mezocyklů s úkolem maximalizace sportovních výkonů v době soutěžního vrcholu pro dané družstvo s ohledem na klimatické podmínky a termínový kalendář (u dospělých jedinců). Nejčastěji má podobu RTC. U mládeže je důraz kladen na celkový vývoj sportovce, jeho osobnost, postupné zvyšování trénovanosti s ohledem na jednotlivé adaptace a požadavky sportovní disciplíny (Lehnert et al., 2014; Perič & Dovalil, 2010).

Periodizace tréninkového procesu je organizované rozčlenění tréninkového roku do jednotlivých po sobě jdoucích cyklů. Cílem je dosažení plánované úrovně trénovanosti a sportovní výkonnosti (Obrázek 1), které jsou ovlivnitelné obsahem, velikostí zatížení a opakováním v daném cyklu. Vždy je nutné brát v potaz věkovou kategorii, tréninkové období, výkonnost daného sportovce či skupiny a systém soutěží (Lehnert et al., 2014). Tradiční pojetí periodizace RTC rozlišuje na přípravné, předzávodní, závodní a přechodné období. Své uplatnění nachází u sportovců nižší úrovně a také u mládeže, v případě více vrcholového modelu se stále využívá u sportovních her. Ve fotbale hovoříme o tzv. dvojité periodizaci, jelikož je fotbalový RTC dělen na letní přípravné období – podzimní hlavní období – zimní přípravné období – jarní hlavní období (Buzek, 2003).

Pro tvorbu RTC je třeba zohlednit: výkonnostní cíle, celkový počet tréninkových jednotek, rozdělení nespécifického, specifického a soutěžního zatížení, poměr a struktura zatížení a odpočinku a způsob nárůstu a poklesu zatížení (Lehnert et al., 2014). Jednotlivé

RTC se plánují s ohledem na termínové kalendáře soutěže a dají se rozdělit na několik období. Proces vlivu zatížení jako rozhodujícího faktoru vytváření kondice je uvedeno na Obrázku 1. Doba jednotlivých období se může lišit podle různých sportů či sportovců a také dle věkových a vývojových zákonitostí (Perič & Dovalil, 2010).

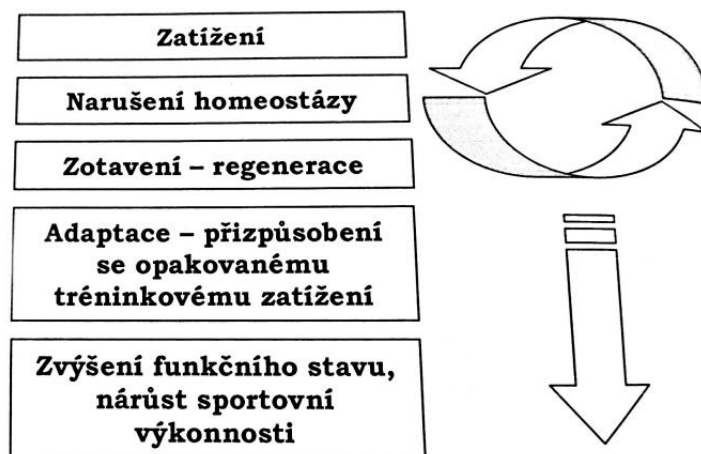
Přípravné období má za úkol zvýšit trénovanost sportovce díky zlepšování obecných funkčních předpokladů pro dané sportovní odvětví a také rozvoji individuálních dovedností a dále díky kondičním, technicko-taktickým i psychickým aspektům hry. Většinou platí, že čím starší a zkušenější je hráč, tím méně se zaměřuje na obecná, nespecifická cvičení a více se soustředí na speciální, analytická a komplexní cvičení. Efektivita se ovlivňuje zvyšováním objemu a poté intenzitou zatížení, jedná se tedy o dynamický proces (Jebavý, Hojka, & Kaplan, 2017; Lehnert et al., 2014).

Cílem předzávodního období je dle Lehnerta et al. (2014) dosažení a vyladění sportovní formy, což se ovlivňuje snížením objemu tréninkového zatížení a pozornost je věnována vysoké intenzitě, kvalitě provedení specifických cvičení aj.

Cílem závodního (soutěžního, hlavního) období je dosažení relativně maximálních výkonů vzhledem k vytvořené sportovní formě. Doba soutěžní části je v některých sportech pevně stanovena rozpisem soutěží (fotbal), v jiných sportovních hrách je závislá na úspěšnosti týmu. Může však trvat i více než 6 měsíců. Kromě mikrocyklů vyladovacích a soutěžních se zařazují mikrocykly regenerační, kontrolní a popřípadě i rozvíjející. S rozdílným přístupem se můžeme setkat u kategorií mládeže, kde by měl být vytvořen prostor pro systematické zlepšování ve všech složkách sportovního výkonu (kondiční, technicko-taktické i psychické). Cílem by měl být perspektivní rozvoj osobnosti sportovce i v herním období s ohledem na dlouhodobou práci sportovce a jeho rozvoj (Jebavý et al., 2017; Lehnert et al., 2014).

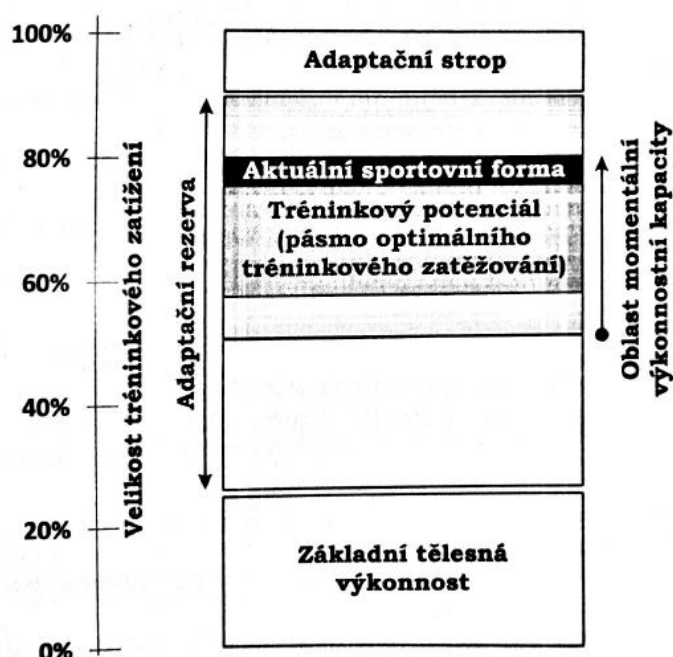
Cílem přechodného období je odpočinek jak fyzický, tak i psychický (regenerace a mentální relaxace), proto je tvořen především regeneračními mikrocykly. Doba trvání tohoto období závisí na konci předešlého RTC, pravidelný trénink je přerušen na maximálně 2-3 týdny, aby se předešlo desadaptacím, které mohou vznikat při delší přestávce. V tomto období se tedy neklade důraz na oblasti rozvíjené v dřívějších obdobích (kondice obecná i specifická), objem i intenzita jsou nízké. Je zde také prostor na doléčení zranění (Jebavý et al., 2017).

Vliv na obsah a strukturu konkrétního cyklu má vývoj sportovce, jeho výkonnost, tréninkové období, aktuální stav a soutěžní kalendář.



Obrázek 1. Zatížení jako rozhodující faktor vytváření kondice (Lehnert et al., 2014).

K této problematice se vztahuje problematika sportovní formy, což je stav, kdy je sportovec optimálně připraven k soutěži na základě vhodného řízení sportovní přípravy (Obrázek 2). Úroveň sportovního výkonu je hlavním indikátorem sportovní formy. První fází sportovní přípravy je vytváření předpokladů pro vznik sportovní formy, které je následováno vznikem a stabilizací sportovní formy a celý proces je zakončen dočasným readaptačním poklesem sportovní formy (Lehnert et al., 2014).



Obrázek 2. Model adaptace na tréninkové zatížení (Lehnert et al., 2014).

Z pohledu sportovního výkonu je třeba dbát nejen na kondiční, ale také technickou, taktickou a psychologickou přípravu. V průběhu RTC by měly být kondiční i speciální přípravy vzájemně logicky a systémově propojeny. Nutná je k tomu jsou také domluva mezi jednotlivými trenéry a promyšlené plánování celého realizačního týmu (hlavního trenéra, asistenta, kondičního trenéra i fyzioterapeuta), které je pro úspěch týmu nevyhnutelné (Perič & Dovalil, 2010).

2.1.3 Výskyt zranění během sportovní přípravy mládeže ve fotbalu

V průběhu ontogeneze se lidské tělo vyvíjí a postupně zraje. Každé období má několik svých charakteristik, na které je třeba brát ohledy. Švédský auxolog Karlberg představil trojkomponentní model růstu ICP, ve kterém rozděluje lidský věk podle somatického vývoje do tří oddělených, aditivních, částečně se překrývajících komponent I (rané dětství), C (dětství – předškolní a školní) a P (dospívání). První komponenta je nezávislá na účinku růstového hormonu, řízení není dosud zcela objasněno, končí mezi 3. a 4. rokem života. Druhá komponenta je období, které může začít u zdravých dětí již před ukončením prvního roku života, je ovlivněna růstovým hormonem a hormony štítné žlázy a zpomaluje

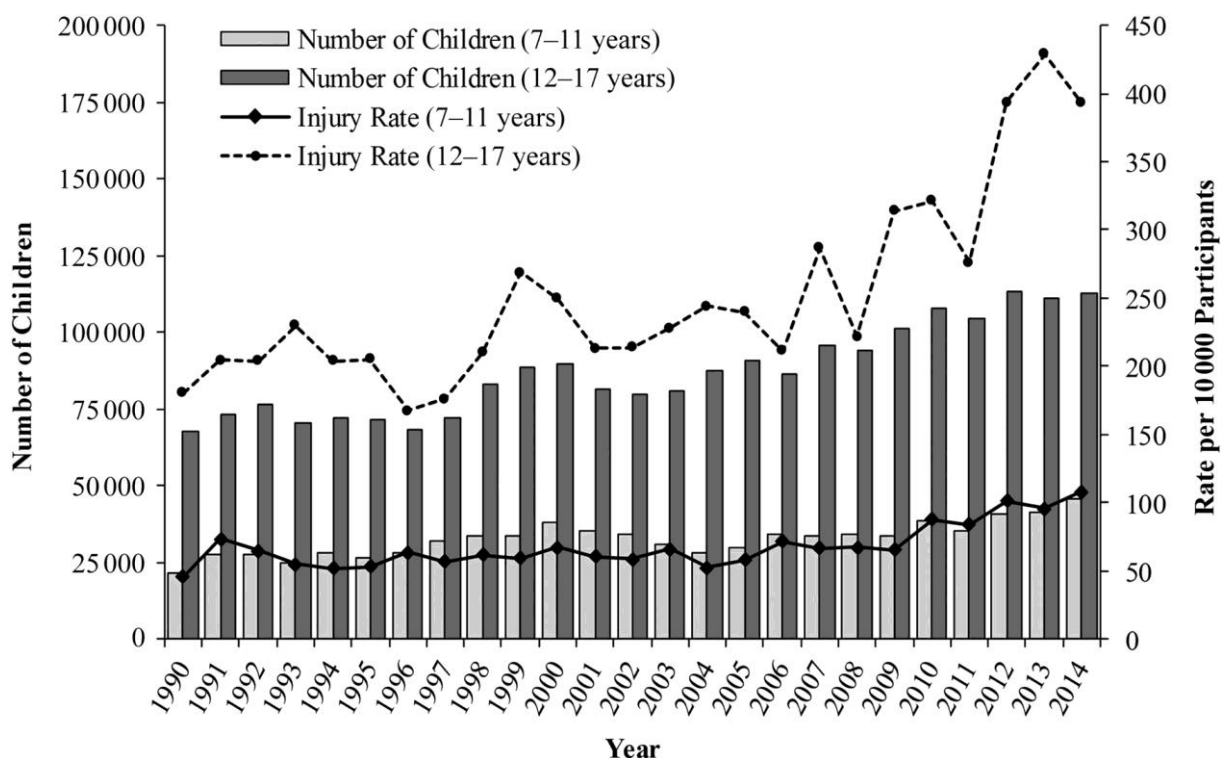
se s přibližováním k dospělosti. Třetí komponenta reprezentuje pubertální fázi růstu, která je akceleračně ovlivněna pohlavními hormony a růstovým hormonem do vrcholu růstového spurtu. Po jeho dosažení dochází ke zpomalení růstu až do jeho ukončení (Riegrová, Přidalová, & Ulbrichová, 2006).

Použitím konvenčních hranic se rozděluje kalendářní věk na několik období. Mladší školní věk od 6 do 11 let, který je charakteristický nedovyvinutou kostrou (zakřivení páteře), v tomto období nejsou rozdíly mezi chlapci a děvčaty. Ve starším školním věku od 11 do 15 let, kdy se objevují nerovnoměrné biologické změny v důsledku puberty, dochází k urychlování růstu vlivem hormonů a začínají se projevovat rozdíly mezi chlapci a děvčaty. Dorostenecký věk od 15 do 18 let je charakterizován pozvolným dovršováním tělesného rozvoje všech orgánů těla (srdce, plic, svalů, zesílení kostí, šlach; Riegrová et al., 2006). Kalendářní věk se nezabývá individuálními růstovými spurty jako je tomu u biologického věku. (Riegrová et al., 2006).

Výsledky studií, které se věnovaly mládeži naznačují, že riziko vzniku zranění narůstá s věkem jedince a může se také vztahovat k různým obdobím růstu a zrání (Parkkari et al., 2008; Read, Oliver, Myer, & Lloyd, 2018b). Shea, Pfeiffer, Wang, Curtin a Apel (2004) zmiňují, že nejrizikovější je období mezi 16. a 18. rokem života, kdy u dětí dochází k růstovému spurtu a dítě dospívá (Peak Height Velocity – PHV). Jiné studie toto rozmezí posouvají na dřívější věk, kdy tvrdí, že mezi 13. – 15. rokem dochází k největšímu výskytu zranění (Read et al., 2018b; Rumpf & Cronin, 2012) podobně jako u staršího věku mezi 15. a 19. rokem (Renstrom et al., 2008).

Studie Rumpf a Cronin (2012) došla k závěru, že stav zralosti jedince nesouvisí s rizikem zranění, kdežto jeho závažnost ano. Dále naznačují, že celková incidence úrazů ve vztahu k chronologickému věku je 8,0 zranění na 1 000 hod. u 9–12letých; 65,8 zranění na 1 000 hod. u 13–15letých a 8,4 zranění na 1 000 hod. u 16–18letých.

Relativní vyrovnanost je v četnosti zranění u fotbalistů ve věku 7–11 let, avšak ve věku 12-17 let výrazně roste tato četnost ve spojitosti s růstovým spurtem (Smith, Chounthirath, & Xiang, 2016; Obrázek 3).



Obrázek 3. Výskyt zranění v letech 1990–2014 u dětí (Smith et al., 2016).

Tyto údaje by naznačovaly, že ve výskytu úrazu spojeného s fotbalem během dětství existuje významný vliv věku a že nejvíce ohrožené jsou děti ve věku 13–15 let. Výsledky autoři překvapivě nevztahují ke zranění, proto by bylo vhodné provést další studie s tímto zaměřením (Rumpf & Cronin, 2012).

2.1.3.1 Etapy sportovní přípravy

Jelikož výskyt zranění není pouze u dospělých, ale objevuje se ve vysoké míře i u mládeže (Rumpf & Cronin, 2012), je důležité znát jednotlivé etapy sportovní přípravy, ve kterých se mládež připravuje na svůj profesionálních vrchol kariéry a adekvátně s nimi pracovat. Například Woodward (2016) specifikuje jednotlivé etapy následovně:

Učíme se hrát (chlapci 9-12 let, dívky 8-11 let)

- Spadá dle Lehnerta et al. (2014) pod etapu sportovní předpřípravy a následně etapu základního tréninku (cca 10-13 let).
- Děti se učí hrát si, tvoří se návyky na základní pravidla, pozornost se věnuje etice sportu, trénink je zaměřen na spojování pohybů do vzorců, často se mění obsah (rychle klesá pozornost), upřednostňuje se práce s vlastním tělem a jeho uvědoměním.

- *Tělesná kondice a koordinace* – hra na malém hřišti, trénink je zaměřen na obratnost, rovnováhu a koordinaci, postupně se přidávají základy tělesné kondice, hráči se učí pracovat se správnou rozvíčkou a zklidněním se na konci tréninkové jednotky, jedná se o senzitivní období pro rozvoj koordinace a rychlosti.
- *Psychologie a životospráva* – učí se základy pravidel, etiku hry, získávají pozitivní přístup k sobě samému, ke druhým a ke sportu.
- Trenéři v tomto období musí pracovat s rodiči, mírou jejich zapojení do aktivit okolo sportu a vypracovávají již v tomto věku dlouhodobý tréninkový plán.
- **Trénink pro budoucí trénink** (chlapci 12-16 let, dívky 11-15 let)
 - Spadá dle Lehnerta et al. (2014) pod etapu základního tréninku (cca 10-13 let) a následně etapu specializovaného tréninku (cca 13-17 let).
 - *Taktika* – při tréninku se klade důraz na vnímání prostoru, sebe sama, soupeře a spoluhráče, podmíněná hra slouží jako prostředek k řešení problémů herních situací, pracuje se na rozvoji představitosti a orientace.
 - *Tělesná kondice a koordinace* – úvod do rozvoje vytrvalosti, rychlosti, pohyblivosti a síly jsou náplní tréninkových jednotek, dochází k přechodu k uceleným kondičním programům, zvláště na začátku tohoto období je vysoká senzitivita pro rozvoj koordinace, po celou dobu jsou podmínky pro rozvoj rychlosti, trénink síly v tomto období slouží k přípravě na další etapy, preferují se komplexní cviky v rámci tréninku.
 - *Psychologie a životospráva* – pracuje se na mentálním tréninku, rozvoji osobní odolnosti, sebeovládání, sebedůvěře, soustředění a odhodlání.

Trénink pro soutěže (chlapci 16-18 let, dívky 15-17 let)

- Spadá dle Lehnerta et al. (2014) pod etapu specializovaného tréninku (cca 13-17 let).
- *Taktika* – pracuje se na předzápasovém plánování a pozápasovém rozboru, své místo zde má videoanalýza, zápasové plány, periodizace taktického tréninku a práce s trenéry během soutěží.

- *Tělesná kondice a koordinace* – pracuje se také s individuálními tréninkovými programy, kdy je možnost zapojit specialisty (kondiční trenér), ke konci období se práce zaměřuje na trénink maximální síly, práci na akcelerační a frekvenční rychlosti, současně je třeba udržovat flexibilitu a respektovat specifika specializace při tréninku koordinace.
- *Psychologie a životospráva* – postupné vystavení více explicitnímu psychologickému tréninku vedenému specialistou. Jedná se o období, kdy hráč přebírá významnou roli v rozhodování týkající se jeho životosprávy a vedení (strava, organizace času, rovnováha, vzdělání apod.).

Trénink pro vítězství (chlapci 18+, dívky 17+)

- Jedná se již o periodizované a individuální tréninkové programy na všech úrovních.

2.2 Rizikové faktory poranění předního zkříženého vazů

Rizikové faktory ovlivňují výskyt poranění kolenního kloubu. Důležitost porozumění těmto faktorům je nutná pro snahu minimalizovat výskyt zranění a tím chránit zdraví sportovců, což se stalo hlavním cílem prezidenta Mezinárodní olympijské komise Jacques Rogge v roce 2001 (Renstrom et al., 2008). Pro porozumění faktorů je třeba nejdříve se věnovat anatomii, fyziologii a neurofyziologii kolenního kloubu, dále biomechanice pohybu a mechanismům poranění a následně se věnovat samotným anatomicko-fyziologickým a neuromuskulárním rizikovým faktorům. S těmi jsou úzce spojeny vlivy růstu a zrání a hodnocení neuromuskulárního řízení kolenního kloubu pomocí vertikálních skoků.

2.2.1 Funkční anatomie kosterních svalů kolenního kloubu

Při každém vertikálním skoku se zapojuje více či méně celá svalová soustava, která je reprezentována 450 svaly, což je cca 35-45% hmotnosti lidského těla. Metabolismus svalové tkáně představuje téměř 45% látkové výměny celého organismu. Anatomickou jednotkou svalu je svalové vlákno, což je mnohoaderný, 10-100 mikrometrů silný útvar s délkou 1-40mm s válcovitým tvarem a kónickým koncem. Na povrchu svalových vláken je buněčná membrána, pod níž jsou v cytoplazmě uložena jádra, buněčné organely a myofibrily (tmavé anizotropní myozinové tlusté dvojlomné A úseky a světlé izotropní aktinové tenké jednolomné I úseky). I úsek je rozdělen ploténkou Z linií, oblast mezi dvěma Z liniemi se nazývá sarkoméra (Dylevský, 2009).

Funkce každého svalu je specifikována pomocí jeho anatomického začátku a konce a současně podle geneticky determinovaného pohybového účelu, který je odvozen z funkce centrálního nervového systému. O svalu mluvíme jako o funkční jednotce (Kolář, 1996). Neuromuskulární funkce hraje důležitou roli v dynamické stabilitě kolenního kloubu (Williams et al., 2003). Tuto stabilitu zajišťují vazy, kosti, kloubní pouzdra, svaly, šlachy a receptory. Všechny tyto složky pracují synergicky. Vazy tedy slouží nejen jako pasivní struktury, které limitují pohybový rozsah v kloubu (biomechanická složka) a udržují ho stabilní, ale také mají funkci dynamických senzorů (proprioceptivní složka; Smékal et al., 2006). Ve struktuře kolenního kloubu je známo několik typů receptorů (Paciniho tělíska, Ruffiniho tělíska, volná nervová zakončení, Golgiho šlachová tělíska a svalová vřetenka; Solomonow & Krogsgaard, 2001).

Typy svalových vláken

Existují čtyři typy svalových vláken, avšak sval je ve skutečnosti heterogenní populací vláken lišících se histochemickými, fyziologickými i mikroskopickými vlastnostmi. Velmi tenká a bohatě kapilarizovaná vlákna jsou typ I (pomalá oxidativní svalová vlákna), které zajišťují statické, pomalé pohyby a polohové funkce. Středně silná a kapilarizovaná vlákna jsou typ IIA (rychlá oxidativní a glykolytická svalová vlákna). Jejich doménou je vliv na rychlost, svalovou výkonnost a ekonomiku svalové práce. Třetím typem jsou vlákna IIB (rychlá glykolytická svalová vlákna), což jsou velmi silná a málo kapilarizovaná vlákna se zaměřením na maximální silový pohyb. Nově diferenciovaná vlákna zřejmě vznikají ze čtvrtého typu nediferencovaných vláken III. Rychlostní a silové znaky jsou podmíněny převážně genotypově, na rozdíl od těch vytrvalostních. Je důležité si uvědomit, že pohybová aktivita má plastický vliv na diferenciaci typu svalového vlákna. Proto specializovanou pohybovou aktivitou dochází k vynucené diferenciaci vláken určitého typu (Dylevský, 2009).

Typy svalů

Kosterní sval je tvořen třemi komponentami: příčně pruhovaná svalová vlákna, vazivo a pomocná zařízení (cévy, nervy). Svaly se také dělí na tři podskupiny (fázické, tonické, smíšené). Fázické (převaha rychlých glykolytických svalových vláken) svaly podmiňují maximální a submaximální svalovou činnost, velice rychle se kontrahují a jsou rychle unavitelné. Tonické svaly (převaha pomalých oxidativních svalových vláken) zajišťují pomalý, relativně slabý pohyb udržující posturu bez rychle vznikající únavy. Smíšené svaly jsou pak kombinací dvou výše zmíněných podskupin (Dylevský, 2009).

Typy svalové akce

Svalová akce může být různého druhu. Dynamická (auxotonická, dříve izotonická) akce je buď koncentrická (zkrácení svalu) nebo excentrická (protažení svalu). Při této akci se mění délka svalu, ale zůstává stejné napětí v celém průběhu pohybu, využívá se např. při vertikálním skoku. Dalším druhem je akce izometrická, kdy se nemění délka svalu, ale mění se napětí svalu (Dylevský, 2009).

Energetický metabolismus svalového vlákna

Svalová akce spotřebuje asi 70-75% aktuálních energetických zásob na cyklické štěpení a znovuvytvoření aktino-myosinových můstků. Zbýlých 25–30 % se využije na přečerpání vápníku, který je uvolněn ze sarkoplazmy zpět do sarkoplazmatického retikula. Okamžité zásoby adenosintrifosfátu v sarkoplazmě zajistí zhruba 8 svalových záškubů, což nestačí při intenzivní svalové zátěži. V tom případě je třeba využít adenosintrifosfát z glukózy popř. z mastných kyselin a aminokyselin. Glukóza je využívána z krevního řečiště nebo svalového glykogenu, kdy za dostatku kyslíku vstupuje v mitochondrii do Krebsova cyklu a vytváří 36 molekul adenosintrifosfátu na jednu molekuly glukózy (Bednařík, Ambler, & Růžička, 2010).

Cévní zásobení svalu

Cévní zásobení je zajištěno cévami, které spolu s nervy vstupují v tzv. svalovém hilu. Po vstupu do svalu cévy bohatě anastomozují. Při vhodné zátěži se kapilarizace svalu zvětšuje. Průtok krve svalem je ovlivňován okamžitou propustností krevního řečiště, svalovým napětím okolních svalů. Dynamické zatížení sebou nese uvolnění a komprimaci, takže je sval dobře zásoben. Při statické zátěži se cirkulace zhoršuje přetrvávající akcí svalových vláken a dochází k rychlejšímu nástupu únavy. Cévní zásobení šlach je velice chudé, velké úseky jsou vyživovány pouze difuzí (Dylevský, 2009).

Hamstringy

Z anatomického hlediska do hamstringů řadíme svaly zadní strany stehna, m. biceps femoris, m. semitendinosus a m. semimembranosus (Čoh et al., 2016). Jejich funkce je flexe kolenního a extenze kyčelního kloubu, všechny jsou tedy dvoukloubové, kromě krátké hlavy m. biceps femoris, která je jednokloubová (Dylevský, 2009).

V souvislosti s poraněním LCA jsou Mayerem a Smékalem (2004) uváděny hamstringy jako agonisté LCA. Pro správnou dynamickou podporu LCA je důležitá jejich

preaktivace před extenzorovou skupinou kolenního kloubu a m. gastrocnemius, a také optimálně načasovaná a vyvážená aktivace. Tím se zabrání především nadměrné rotaci a anteriorní translaci tibie vůči femuru při extenzi kolenního kloubu a dojde ke zvýšení pevnosti kloubu a snížení síly, která negativně působí na kolenní kloub a jeho struktury. Dále se hamstringy uplatňují jako brzdný mechanismus, který excentricky zpomaluje pohyb, zejména při dynamických pohybech. V klinické souvislosti je m. quadriceps femoris často označován jako antagonist LCA. Schopnost m. quadriceps femoris napsat LCA je největší v plné extenzi kolene, protože v této poloze je maximální úhel inserce ligamentum patellae na tibií. Čím větší je úhel inserce, tím dokáže m. quadriceps femoris vyvinout větší sílu k posunu tibie ventrálně oproti femuru (Neumann et al., 2010).

2.2.2 Biomechanika pohybu

K tomu, aby člověk mohl provést jakýkoliv pohyb, je nutné, aby nejprve došlo ke stabilizaci trupu. To předchází i nejmenšímu pohybu na těle. Po stabilizaci trupu (zapojení tzv. hlubokého stabilizačního systému: hluboké flexory a extenzory krční a horní hrudní páteře, bránice, pánevní dno, extenzory bederní páteře a břišní svaly) může následovat pohyb. Při chůzi rozlišujeme opěrnou fázi a náročnou fázi. Opěrná fáze je při ostatních pohybech označována jako punctum fixum, tedy oblast/bod, kde dochází k opoře svalů a jejich fixaci, aby mohlo dojít k pohybu v oblasti puncta mobile (náročná fáze). Nejen podle těchto dvou oblastí také můžeme rozlišovat pohyb v otevřeném a uzavřeném kinematickém řetězci.

Pro vysvětlení pojmů otevřený a uzavřený kinematický řetězec, je třeba nejprve si vysvětlit, co je (bio)kinematická dvojice a biokinematická smyčka. (Bio)kinematická dvojice vyjadřuje vazbu mezi dvěma sousedními segmenty. Biokinematická smyčka popisuje mnohoúhelník, jehož strany tvoří segmenty těla, a jehož vrcholy jsou biokinematické dvojice (Janura, 2003). Podle výskytu pojmů (bio)kinematická dvojice a biokinematická smyčka se pak dá pohyb rozlišit na pohyb v otevřeném nebo uzavřeném kinematickém řetězci. Otevřený kinematický řetězec neobsahuje žádné biokinematické smyčky (Karas, 1990), na druhou stranu uzavřený obsahuje alespoň jednu smyčku a každý člen řetězce je součástí alespoň jedné smyčky (Karas, 1990).

V případě punctum fixum a punctum mobile se dá pohyb rozlišit podle místa každého z nich. V případě, že je punctum fixum proximálně, hovoříme o pohybu v otevřeném kinematickém řetězci, kdy pohyblivá část je distálně. V případě, že je punctum fixum distálně, hovoříme o uzavřeném kinematickém řetězci a k pohybu dochází proximálně. Při punctu fixu

distálně se hovoří většinou při přenosu váhy distálně (např. při chůzi, dopadu z výskoku). Následně dochází k pohybu v dalších segmentech (Kolář, 2009). Dle Vařeky (2002) je v otevřeném kinematickém řetězci možné změnit postavení v jednom kloubu beze změny postavení v kloubech ostatních. Naproti tomu při pohybu v uzavřeném kinematickém řetězci je změna postavení v jednom kloubu možná pouze za současné změny postavení v dalších kloubech. V případě vertikálního skoku, kdy se jedná o vícekloubový pohyb, začíná pohyb zatížením dolních končetin spojených s flexí kolenního kloubu, což je pohyb v uzavřeném kinematickém řetězci (Janura et al., 2012).

2.2.3 Vývojová kineziologie

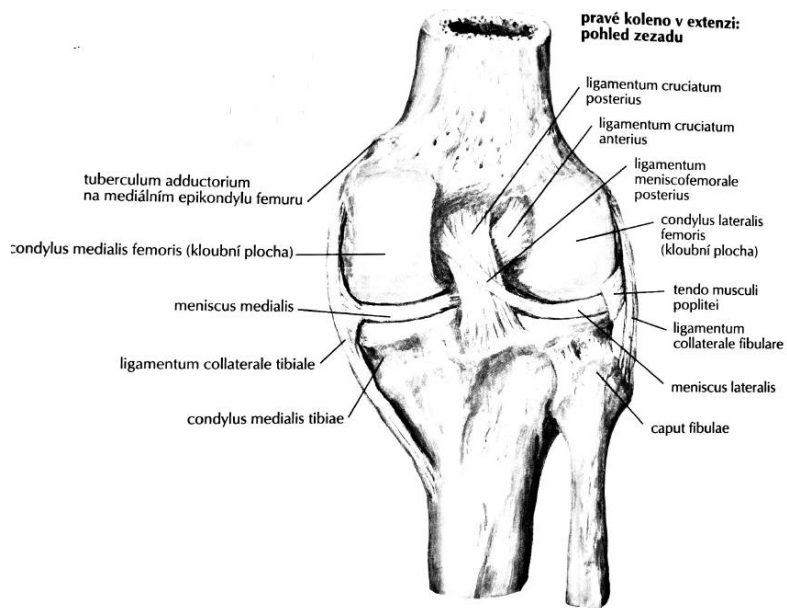
Vývojová kineziologie sleduje vývoj dítěte na základě kvantitativních a kvalitativních ukazatelů zrání mozku. U kvantitativních se rozlišují jednotlivé motorické dovednosti, kdy se dítě poprvé posadilo, stouplo si či udělalo první krok. O úrovni těchto dovedností hovoří kvalita. Jedná se o kvalitu postavení se do stoje, popsání postury dítěte ve stoje, postavení jednotlivých kloubů či zapojení svalů při aktivitě. Tyto klíčové oblasti určují, jaký bude další vývoj dítěte, a do velké míry ovlivňují, zda bude v dospělosti mít jedinec bolesti, artrózu, skoliózu nebo další onemocnění. Samotný pohyb formuje naši kostru, proto je od dětství důležité adaptovat děti ke správnému zdravému pohybu v dostatečné kvalitě i kvantitě (Kolář, 2009). K poruše těchto pohybových stereotypů může dojít vlivem vývoje dítěte (zvláště do 1 roku věku) nebo později jednostranným přetěžováním (břemena, dlouhodobé sezení či stání nebo jednostranný sport, popř. úraz). Při úrazu mozek funguje tak, že nejprve chrání danou oblast nadměrným stažením svalů a postupně oblast vyčlení ze správné funkce a pak zcela vyřadí. Tímto procesem vzniká svalová nerovnováha, kdy většinou převažují svaly vývojově starší nad těmi, co se zapojily do funkce později ve vývoji. Oblasti poranění jsou pak v budoucnu prediktivní k degenerativním změnám kloubů nebo končetin (Kolář, 2009). Z toho plyne, že správné nastavení všech kloubů v těle, tzv. neutrální postavení, je vhodné jako prevence porušení posturálního vývoje, chybných stereotypů, svalové nedostatečnosti, vazivové insuficience, poruch globálních či regionálních anatomických parametrů.

Globální anatomické parametry hodnotí morfologické nálezy z hlediska celkové postury (zakřivení páteře v sagitální nebo frontální rovině). Regionální anatomické parametry (sklon pánve, sklon sacra, délka pánve) jsou charakterizovány vymezením více anatomických segmentů. Tyto parametry mohou být závislé na poloze (sed, stoj, leh), ale také nemusí (RTG vyšetření). Mění se v průběhu zrání a až po dosažení plného zrání se dají považovat za stabilní; současně pomáhají posuzovat biomechanické poměry.

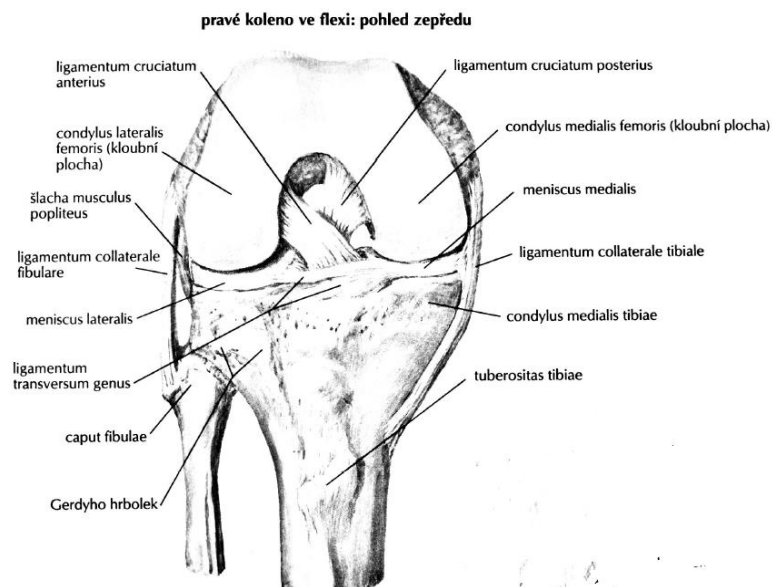
Neutrální postavení kloubu je pak definováno jako poloha, kdy je maximální krytí hlavice jamkou, je vyvážený tah svalů okolo daného kloubu, je možné dosažení maximálního rozsahu pohybu a současně je kladen minimální mechanický tlak na pasivní struktury (vazy, chrupavky). Při tomto nastavení je ideální statické zatížení a je možné v této pozici vyvinout maximální sílu. Pohyb v tomto nastavení je maximálně ekonomický a tedy výhodný pro tělo (Kolář, 2009).

2.2.4 Kineziologie kolenního kloubu

Nejsložitější kloub v lidském těle, který je spojen třemi kostmi: femurem, tibíí a patelou. Nerovnoměrnost zakřivení mezi výrazně zakřivenými kondyly femuru a téměř plochými kondyly tibie upravují menisky. Základním postavením kolenního kloubu je nulová flexe, kdy je koleno tzv. uzamčeno. V tuto chvíli jsou postranní vazy napjaty, stejně tak vazivové struktury zadní strany kloubu, femur, menisky i tibie na sebe naléhají (Obrázek 4). V literatuře se uvádí, že pohyb z extenze do flexe má tři části. První je iniciální rotace, dále flexe a terminální rotace. Z pohledu vazů je v plné extenzi téměř nemožné provést jakýkoliv rotační pohyb. Při počáteční rotaci, která činí 5°, se uvolňuje napětí LCA a tibie se točí dovnitř (tzv. odemknutí kolene). Rozsah rotace se zvětšuje s přibývajícím flexí, zvláště během prvních 30°. Maximum rotace je mezi 45-90° flexe. Následně dochází k valivému pohybu a na závěr k posuvnému pohybu. Ve flexi zkřížené vazy brání nevyžádaným pohybům posuvného charakteru (Obrázek 5). Celkový rozsah kolenního kloubu do flexe je 120-150°, kdy posledních 10° lze provést pouze pasivně. Extenze je v pozici nulové flexe. Mnoho lidí je schopno provést i tzv. hyperextenzi, která činí 5-15°, a kdy další pohyb je omezen napětím vazů dorzální strany kloubu, LCA, posteromediální části zadního zkříženého vazů, nalehnutí kondylů femuru na přední rohy menisků a také napětí hamstringů (Kolář, 2009).



Obrázek 4. Pravý kolenní kloub v extenzi, pohled zezadu (Netter, 2005).



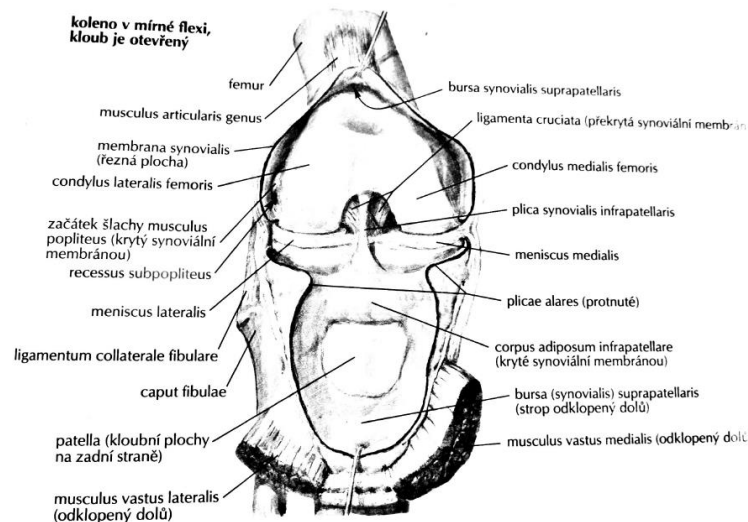
Obrázek 5. Pravý kolenní kloub ve flexi, pohled zepředu (Netter, 2005).

2.2.5 Anatomicko-neurofyziologické aspekty předního zkříženého vazů

Přední zkřížený vaz se rozpíná v plném rozsahu pohybu do extenze více vertikálně, zatímco zadní zkřížený vaz více horizontálně (Kapandji, 1987). Jednotlivá vlákna tvořící vaz nevykazují stejný sklon ani stejnou délku, takže nejsou při pohybu v kloubu napínána všechna současně. Díky různému sklonu jednotlivých vláken zajišťuje vaz stabilitu ve směru anteroposteriorním, laterolaterálním i při rotaci (Kapandji, 1987).

LCA je tvořen dvěma funkčními jednotkami: anteromediální a posterolaterální. Během extenze v kolenním kloubu je posterolaterální část napínána a anteromediální je přiměřeně uvolněná. V průběhu postupné flexe v kolenu se posterolaterální část uvolňuje a anteromediální se začíná napínat (Bicer et al., 2010). Tento vaz také zabraňuje posunu tibie dopředu proti femuru. LCA je záhybem synoviální membrány, který částečně dělí kolenní kloub v sagitální rovině. Současně se jedná o jedinou vaskularizovanou část LCA (Duthon et al., 2006).

Mušské koleno vykazuje lepší stabilizační souhru hamstringů a m. quadriceps femoris oproti ženskému (Obrázek 6), takže není tolik závislé na vazivovém aparátu a také díky tomu mají muži rychlejší reakční časy svalové odpovědi (Mayer & Smékal, 2004).



Obrázek 6. Kolenní kloub v mírné flexi, pohled zepředu (Netter, 2005).

Neurofyziologické experimenty ukazují, že nejvíce kloubních receptorů je aktivních především v takové úrovni pohybu, která se blíží maximálním možným rozsahům v daném kloubu. Současně i klinická zkušenost potvrzuje, že propriocepce z kolenního kloubu hraje

významnější úlohu v krajních rozsazích pohybu, což plní funkci ochrany kloubu (Bonfim et al., 2003).

2.2.6 Rizikové faktory poranění předního zkříženého vazy a jejich členění

Porozumění rizikovým faktorům je stěžejní pro zvyšování efektivity identifikace sportovců s vyšším rizikem, a také pro vývoj preventivních programů (Brophy, Silvers, Gonzales, & Mandelbaum, 2010). Rizikové faktory jsou tradičně popisovány jako vnější a vnitřní podle toho, zda pochází zvnějšku těla nebo zevnitř (Knowles, 2010). Se zraněním může být spojeno více vnitřních nebo vnějších rizikových faktorů, zejména u mladého fotbalového hráče, který směřuje k profesionální kariéře (Brophy, Silvers, Gonzales, & Mandelbaum, 2010). Je známo, že mechanismy úrazu mohou být specifické pro různé sporty i dle pravidel a charakteru daného sportu. Bohužel se zranění DKK nevyhýbá žádnému sportu a vědci stále častěji identifikují odlišné vzorce zranění v rámci stále širšího spektra sportů (Knowles, 2010). Obecně jsou zranění způsobena multifaktoriálně a komplexně, stejně tak specificky dle sportu (Hewett, Shultz, & Griffin, 2007).

Mezi vnější faktory jsou řazeny utkáání, povrch, obuv, environmentální podmínky a sportovně-specifické faktory (pravidla, rozhodčí a trenéři; Renstrom et al., 2008). Pokud jde o vnitřní rizikové faktory, existují obecně tři oblasti, které jsou individuální a predisponují k riziku poranění: anatomické, neuromuskulární a hormonální faktory (Hewett, 2000). Vnitřní faktory anatomické a hormonální se nedají nijak ovlivnit, proto je třeba se nejvíce věnovat faktorům ovlivnitelným, modifikovatelným tedy neuromuskulárním. Růst a zránění, které ovlivňují proces sportovního růstu každého fotbalisty, zmíněné v kapitole 2.5.1, jsou individuálně načasované, a proto je třeba rychle identifikovat modifikovatelné faktory a lépe pochopit mechanismus poranění (Knowles, 2010). LCA a svalová poranění se objevují jako výsledek nedostatku stability poskytnuté dynamickými a pasivními mechanismy stability kolenního kloubu (Hughes & Watkins, 2006). Pasivní stabilizace je poskytována nekontraktilními složkami kolenního kloubu. Mezi tyto složky patří kloubní pouzdro, laterální a mediální meniskus a čtyři extrakapsulární vazy (postranní a zkřížené; Hughes & Watkins, 2006). Dynamická stabilita zahrnuje svalové a nervosvalové akce hamstringů a m. quadriceps femoris (Ahmad et al., 2006). Literatura naznačuje, že incidence poškození LCA u mládeže je pravděpodobně způsobena spíše dynamickými stabilizačními strukturami než pasivními (Hughes & Watkins, 2006), což zvyšuje důležitost ovlivňování modifikovatelných faktorů tréninkem.

Mezi anatomické faktory patří změny rozsahu pohybu, které zvyšují riziko nekontaktního poranění LCA, omezená flexe kyčelního kloubu, zvětšení vnitřní rotace kyčelního kloubu, zvětšení addukce kyčelního kloubu, omezená flexe kolenního kloubu, zvětšení abdukce kolenního kloubu, zvětšení vnitřní nebo zevní rotace tibie a jiné abnormální postavení částí těla (Barber-Westin & Noyes, 2017; Renstrom et al., 2008). Jiní autoři anatomické odlišnosti popisují jako tzv. valgózní postavení kolenního kloubu, což je např. spojováno se zmenšením flexe v kolenním a kyčelním kloubu, a také pronací subtalárního kloubu. Valgózní postavení je také popisováno jako zvětšení momentu abdukce v kolenním kloubu při dopadu (Brophy et al., 2010; Renstrom et al., 2008). Ukázalo se, že po zatížení dochází k posunu tibie dopředu, čímž se dostává LCA do stresové pozice. Tato pozice může být náchylnější pro zranění, zvláště ve chvíli, kdy je oslabena funkce hamstringů, které fyziologicky snižují nároky na pasivní struktury kolenního kloubu a kloub následně není v neutrálním postavení (Melnik & Gollhofer, 2007; Kolář, 2009). V souvislosti s těmito poznatky, které již patří mezi neuromuskulární faktory, přinesla zajímavé výsledky studie Small, McNaughton, Greig a Lovell (2010), která odhalila výrazné snížení poměru síly mezi hamstringy a m. quadriceps femoris po zátěži, a to hlavně na konci prvního a druhého poločasu fotbalového utkání. Může to být zapříčiněno tím, že hamstringy mají více rychlých vláken a jsou oproti m. quadriceps femoris náchylnější k únavě. Tento rozdíl vede k nerovnováze, která může ovlivnit stabilizující funkci stehenního svalstva (Sangnier & Tourny-Chollet, 2007).

Hormonální faktory mohou zahrnovat mechanické a strukturální vlastnosti LCA, laxicitu tibiofemorálního kloubu, odpor kloubu proti translaci a rotaci, hladinu estrogenu, progesteronu a testosteronu v krvi, míru stresu a u žen také fázi menstruačního cyklu (Renstrom et al., 2008). I přes porozumění vlivu anatomických a hormonálních faktorů na riziko poranění nejsme schopni tyto faktory ovlivnit a proto se jim v disertační práci dále nezabýváme a zaměřujeme se na tréninkem ovlivnitelné, tedy modifikovatelné faktory, neuromuskulární faktory (Hewett, 2000).

2.2.7 Neuromuskulární řízení, koordinace a rizikové faktory poranění předního zkříženého vazů

2.2.7.1 Řízení hybnosti

Centrální nervový systém (senzorická, motorická a motivační část) generuje naše chování na základě pohybových programů/vzorců vycházejících z motorických center. Máme tři základní pohybové projevy, mezi které patří volní pohyb (cílená motorika), mimovolní pohyb (reflexní, rychlé pohyby) a rytmické pohyby (opakující se, oscilující pohyby). Motorický nervový systém jako základní didaktické schéma, je tvořený motorickou jednotkou, předními míšními rohy, motorickými centry mozkového kmene, mozečkem, motorickými centry thalamu, bazálními ganglii, motorickou kůrou hemisfér (Dylevský, 2009). Každá část má svůj specifický a nezastupitelný podíl na celkovém motorickém projevu člověka. Předpokladem veškeré hybnosti je reflexní svalový tonus.

Předpokladem úmyslného a cíleného pohybu je zajištění reflexních mimovolných akcí (vzpřímená poloha, svalové napětí, rovnováha těla), které jsou zajišťovány vestibulárním systémem (hlava) a informacemi ze svalových vřetének a šlachových tělísek (končetiny, trup). Tyto informace se schází na úrovni mozkového kmene v jádrech retikulární formace. Odtud vychází dráhy řídící mimovolní pohyby. Činnost retikulární formace je koordinována mozečkem, který vybírá informace pro míchu, která dává informace k neoptimálnějšímu pohybu (Bernaciková, Kalichová, & Beránková, 2010). Supraspinální a korová centra vydávají povely bez specifikace detailnějšího pohybu, nižší motorická centra, spinální, specifikují detaily pohybu (Dylevský, 2009). Bazální ganglia jsou uložena v podkoří obou hemisfér, koordinují neúmyslnou (reflexní) a úmyslnou (cílenou, volní) pohybovou aktivitu. Určují parametry jako je síla, rychlost, směr a amplituda (Dylevský, 2009). Pyramidový systém, který vychází z motorické kůry, realizuje rychlé, přesné, fázické pohyby (Dylevský, 2009).

Kromě centrálního nervového systému se na pohybu podílí periferní nervový systém. Funkce periferního nervového systému může být rozdělena na senzorickou a motorickou část. Zatímco senzorické (dostředivé) neboli aferentní nervy přinášejí impulsy z receptorů uložených na pokožce, v kloubech, svalech a dalších částí periferie do centrálního nervového systému, motorické (odstředivé) neboli eferentní nervy přinášejí impulsy z centrálního nervového systému do jednotlivých krajín těla. Mícha obsahuje jak motorické tak senzorické nervy. Z míchy vystupuje 8 párů krčních nervů, 12 párů hrudních, 5 párů

bederních, 5 párů křížových a 1 pár kostrčních nervů (Bernaciková et al., 2010). Kolenní kloub je senzitivně inervován z nervus femoralis, který vychází z bederních nervů.

2.2.7.2 Neuromuskulární koordinace

Neuromuskulární koordinace může být definována jako nezbytný nástroj pro úspěšné dokončení motorického úkolu, ke kterému je potřeba přesnost a ekonomika pohybu. Koordinace může zefektivnit vytváření pohybových technik, které představují důležitý faktor sportovního výkonu (Missitzi, Geladas, & Klissouras, 2004). Téměř dokonalá neuromuskulární koordinace je spojena se schopností bezchybně vykonávat dovednosti a taktické manévry. Technická nedokonalost znamená, že dovednost nebyla osvojena nebo správně zautomatizována, proto je pravděpodobnost správné realizace z hlediska technického nebo taktického nízká, což snižuje kvalitu celého pohybového výkonu (Bompa, 1999b). Náročné pohyby vyžadují koordinaci neuromuskulárních komponent jako je regulace trajektorie pohybu k dosažení požadovaného cíle za současného zachování rovnováhy a minimalizace stresu v podobě zátěže na klouby těla. V případě, že jsou obtíže se zajištěním výše zmíněných požadavků, zvyšuje se riziko poranění (Scholz, Millford, & McMillan, 2017).

Základní jednotkou neuromuskulární koordinace je motorická jednotka. Ta se skládá z určitého počtu svalových vláken inervovaných jedním motoneuronem a současně se jedná o nejmenší komponentu, kterou lze samostatně aktivovat. Místo, kde dochází k terminálnímu větvení axonu a vstupu do svalového vlákna, se nazývá nervosvalová ploténka. Jedná se o synapsi, kde dochází k transformaci nervového impulzu na elektrický potenciál (akční potenciál). Ten se pak šíří svalovým vláknem a zajišťuje svalovou akci. Ploténka má několik částí: presynaptická část, synaptická štěrbina, postsynaptická část (Bednařík et al., 2010). Motoneurony dokáží vytvořit jak excitační, tak inhibiční impulz. Excitační impulzy zahajují svalovou akci. Na druhou stranu inhibiční chrání sval před námahou, která by mohla sval poškodit a nebyla již tolerována okolními tkáněmi a kostěnými strukturami. Tyto dva systémy spolu musí spolupracovat, aby došlo k bezpečné svalové akci (intermuskulární koordinace). Velikost svalové akce je závislá na počtu zapojených motorických jednotek a počtu relaxovaných motorických jednotek (intramuskulární koordinace). Pokud je vyšší počet excitačních impulzů, motorické jednotky se budou zapojovat ve svalové akci a vyvíjet sílu. Pokud bude vytvořeno více inhibičních impulzů, motorická jednotka bude relaxovat (Bompa, 1999a). Na základě této teorie mohou být výsledkem tréninku potlačeny inhibiční impulzy

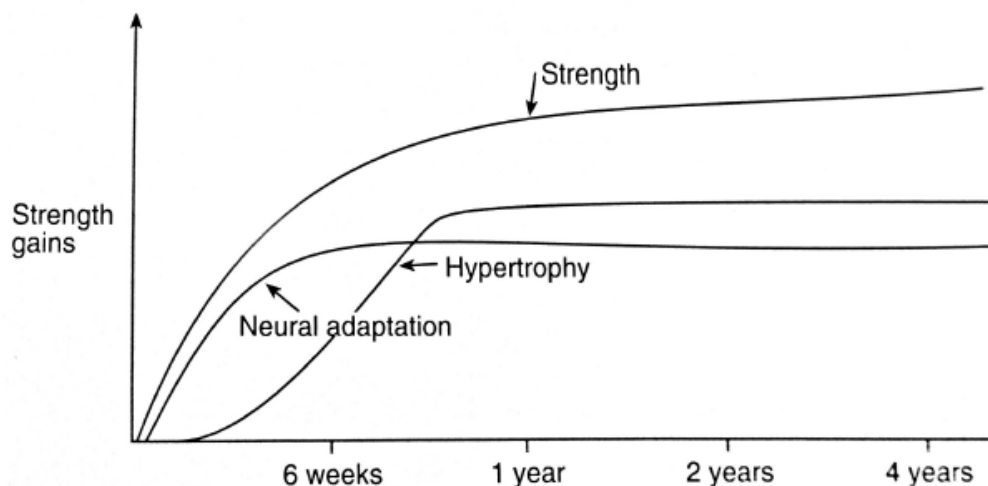
a tím dojde k silnější svalové akci. Dalo by se říci, že cílem tréninku je naučit se zapojovat co největší počet motorických jednotek (Bompa, 1999a).

Neuromuskulární koordinace funguje na dvou úrovních, a to intramuskulární koordinaci a intermuskulární koordinaci (Rutherford, 1988). Schopnost koordinovat specifické sekvence, ve kterých se svaly účastní postupně, se dá získat jen dlouhotrvajícím nepřetržitým opakováním, což znamená, že trénink tvoří dokonalost. Účinnost zapojování může být dosažena pouze, když se sportovci učí relaxovat antagonisty. Lepší intramuskulární koordinace vyžaduje menší energii potřebnou k akci, což vede k lepšímu výkonu (Bompa, 1999a). Úroveň intramuskulární koordinace je pozitivně ovlivňována zdokonalováním koordinace intermuskulární.

Během maximálních a submaximálních aktivit se navyšuje rychlost „firingu“ motorických jednotek. Tato neuromuskulární strategie může zvýšit dobu, po kterou sportovec udrží svalovou akci. V průběhu submaximální prodloužené aktivity se přeruší zapojení některých motorických jednotek a je nahrazena zapojením nových, které nadále udržují sílu. Při udržování maximální volní akce motorické jednotky s nejvyšší frekvencí na začátku ukazují největší pokles (Bompa, 1999b).

Mladí nebo začínající sportovci mají často nižší úroveň silových schopností a zhoršenou neuromuskulární koordinaci. Jejím tréninkem se sportovci naučí využívat svaly efektivně a ekonomicky. Jedná se o proces motorického učení, v průběhu kterého dochází k nervovým adaptacím a zlepšení nervosvalové koordinace (Bompa, 1999a).

Nervová adaptace se projeví zlepšením schopnosti aktivovat agonisty a zlepšením jejich koordinace s antagonisty. Tím dojde ke zdokonalení intermuskulární koordinace a následně se objeví lepší svalový výkon. Silový trénink výbušnosti a rychlosti reakce přispívá nervovému systému, jeho synchronizaci a rychlosti „firingu“ motorických jednotek. Na Obrázku 7 je vidět nervová a svalová adaptace na silový trénink, která vede k nárůstu síly (Bompa, 1999a).



Obrázek 7. Nárůst síly jako výsledek nervové adaptace a svalové hypertrofie (Bompa, 1999a).

2.2.7.3 Růst a zrání

Růst a zrání úzce souvisí s neuromuskulárními rizikovými faktory, které mohou ovlivnit výskyt zranění. Tyto faktory ovlivňují následně pohybové vzorce a motorickou kontrolu. Porozumění těmto pohybovým vzorcům a motorické kontrole během dětství je náročné zvláště z etických a metodologických důvodů avšak pro jejich pozitivní vliv na vývoj zásadní. I když se jedná o podobné pojmy, je třeba si uvědomit, že růst i zrání jsou hodnoceny různými biologickými měřítky (Armstrong & Welsman, 1997). Děti jsou někdy rozdělovány dle chronologického věku, což je velice slabý ukazatel biologického zrání.

Radnor et al. (2018) uvádějí, že výsledkem růstu a zrání jsou změny neuromuskulárního řízení. Mezi tyto změny řadí nárůst velikosti svalu, úhel mezi podélnou osou svalu a jeho vlákny, délku fascikulu, tuhost šlachy, nábor motorických jednotek a dopřednou aktivitu.

Růst znamená zvětšení velikosti těla nebo kterékoli jeho specifické části. Představuje cyklický proces, při kterém jsou tkáně a orgány v neustálém procesu růstu, smrti a regenerace. Také jednotlivé segmenty těla nerostou stejnou rychlostí, a proto se relativní velikost a tvar tkání a orgánů mění v průběhu životního cyklu. Nejběžnější měření růstu zahrnují měření postavy a tělesné hmotnosti, i když jsou k dispozici i jiná měření velikosti, včetně šířek, délek, a obvodů. Je publikačně zdokumentováno, že změny ve složení těla (beztuková hmota, plocha průřezu, procento tělesného tuku) poskytují vědcům, zaměřeným na tuto problematiku, smysluplnější údaje týkající se relativních proporcí tkáně, než aby se spoléhali pouze na tělesnou hmotnost jako takovou (Lehnert et al., 2019).

Zrání vypovídá o tempu a načasování progresu směrem k dospělému biologickému stavu. Zrání se od růstu liší interindividuálním průběhem rychlosti, avšak s dosažením stejného koncového bodu (tzv. plné vyžrání). V nejjednodušším vysvětlení se růst zaměřuje na velikost a zrání na proces dosažení velikosti. Je dobře známo, že doba puberty zahrnuje všechny fyziologické a morfologické změny, které vedou k vývoji struktury a funkčních charakteristik dospělého. Zrání je obtížné definovat a techniky hodnocení zrání se liší v závislosti na biologickém systému, který má být hodnocen. Mezi běžně používané techniky pro stanovení zrání patří hodnocení sekundárních pohlavních charakteristik, stáří odpovídající vrcholu růstového spurtu, kosterní zrání a sledování cirkulujících hormonů. Problémy vznikají v tom, že ani tyto biologické procesy nepostupují podobným tempem. Sexuální zrání velmi úzce souvisí s celkovým procesem fyziologického zrání, a proto je užitečným ukazatelem biologického zrání (Bielicki, 1975; Bielicki, Koniarek, & Malina, 1984). Hodnocení sekundárních pohlavních charakteristik zahrnuje zkoumání vývoje růstu vousů, prsou, genitálií a pubického ochlupení, a proto jsou s technikou spojeny značné etické problémy (Tanner, 1962).

Současně se v literatuře začíná více objevovat používání neinvazivních odhadů biologického zrání pomocí antropometrických měření. Během puberty dochází u většiny jedinců k rychlému růstu, což je patrné jako rychlý nárůst výšky. PHV může být použit jako indikátor dospělosti, přičemž dítě, u kterého je růstová rychlost dříve, dříve vyspěje. Mirwald, Baxter-Jones, Bailey a Beunen (2002) předložili rovnice pro chlapce a dívky, které zahrnovaly chronologický věk, pohlaví, postavu, výšku vsedě a tělesnou hmotnost a slouží k určení PHV popř. posunu od PHV (viz kap. 4.3).

Zkoumání vývoje svalů u dětí lišících se ve stádiích růstu a zrání pomáhá porozumět věkovým a pohlavním rozdílům v síle a motorickým dovednostem. U sledování sportovního výkonu je třeba pochopit vztah mezi zráním, změnami v postavě, délce kostí či tělesnou hmotností během dospívání.

2.2.8 Hodnocení neuromuskulárního řízení pomocí vertikálních skoků

2.2.8.1 Vertikální skok

Existuje mnoho způsobů, jak hodnotit neuromuskulární řízení. Tato práce hodnotí úroveň neuromuskulárního řízení pomocí vertikálních skoků, proto se na ně zaměříme. Tyto testy umožňují hodnotit efektivitu cyklus natažení a zkrácení svalu (SSC), který se uplatňuje v řadě fotbalově-specifických pohybů (Čoh, Živković, & Žvan, 2016; Small et al., 2010).

V mnoha sportech je síla hlavní biomotorickou schopností, která předpovídá výsledky. V moderní kinesiologii je síla nepochybně jednou z nejpečlivěji zkoumaných schopností, proto se stále objevuje mnoho nezodpovězených otázek. Je popsáno mnoho typů dělení síly, např. podle akce nebo podle neuromuskulární aktivity (Čoh et al., 2016). Vertikální skoky jsou jednou z možností, jak změřit sílu dolních končetin. Pokud jde o produkci síly, je nezbytné, aby svaly vyvinuly více síly a spotřebovaly méně chemické energie během excentrické akce oproti koncentrické akci (Komi & Gollhofer, 1994; Enoka, 2003). Tento proces, který se objevuje při běhání, klusání a různých typech skoků a dochází při něm k zpětnému využití absorbované energie je SSC (Cavagna, Granzetti, Heglund, & Willems, 1988). Efektivita SSC závisí na času přechodu z jedné do druhé. Delší čas znamená menší účinnost akce. Při excentrické fázi může být limitací svalově-šlachový komplex, ve kterém se nahromadí elastické energie, která je potřeba ve druhé fázi. Tato elastická energie, která je nakumulovaná ve svalu, se dá využít pouze po dobu cca 15–120 ms a je závislá na délce existence daného příčného můstku (Čoh et al., 2016). Ke včasnému využití pomáhá i dopředná aktivita svalu (viz kap. 2.2.8.3). Rozlišují se dva typy SSC, rychlý SSC a pomalý SSC, přičemž jejich rozdíl spočívá v délce doby kontaktu. Doba kontaktu kratší než 250 ms je typická pro rychlý SSC, zatímco více než 250 ms pro pomalý SSC. Má se za to, že pomalý SSC je schopen vyvinout větší sílu, protože roste délka svalové akce a rozsah. Na druhou stranu svalové akce s rychlým SSC produkují větší moment síly a dochází při nich k vyšší úrovni nervové excitace vniklé z nahromaděné elastické energie (Radnor et al., 2018).

Bosco (1992) vyvinul klasifikační protokol k monitorování síly odrazu při vertikálním skoku. Koncentrická akce při odrazu se hodnotí výskokem z podřepu (squat jump), excentrická akce (s následnou koncentrickou) se hodnotí pomocí vertikálního skoku z místa (countermovement jump) a skoku po seskoku z vyvýšeného místa (drop jump).

Optimální provedení vertikálního skoku závisí na rychlé a harmonické koordinaci segmentů těla, která je podmíněna interakcí svalového, kloubního a nervového systému (Rodacki, Fowler & Bennett, 2002).

Klíčovými parametry jsou rychlost odrazu, která je závislá na impulzu síly koncentrické fáze, vrchol síly a síla (W/kg). U všech vertikálních skoků je limitující čas, kdy je možné provést explozivní pohyb. Tento čas je u koncentrické fáze od 314 ± 6 do 326 ± 17 ms (Čoh et al., 2016).

Vertikální skok může být ovlivněn únavou, kdy dochází ke změnám svalové aktivity, snížení motorické kontroly a koordinace, což může mít za následek snížení vertikálního skoku nebo rovnovážných schopností při jeho provádění (James, Scheuermann & Smith, 2010).

Quammen et al. (2012) poukazují na vliv únavy na vertikální skok. Po únavě se při přípravné fázi objevila menší flexe v kyčelním kloubu, při dopadové fázi menší flexe, jak v kolenním, tak i v kyčelním kloubu. Autoři všechny tyto mechanismy, které se objevily po únavě, seznali jako rizikové pro zvýšený vznik nekontaktního poranění LCA.

Vertikální skok z místa se popisuje čtyřmi fázemi: přípravná, odrazová, letová a dopadová.

Přípravná fáze

Dochází ke snížení těžiště pomocí svalů kyčelního a kolenního kloubu, které se zapojují jak excentricky, tak koncentricky. Koncentricky se aktivují flexory kolenního kloubu (m. biceps femoris, m. semimebranosus a m. semitendinosus) a také m. gastrocnemius. Na dalším průběhu snížení těžiště se excentricky podílejí m. vastus lateralis a m. rectus femoris. Ke snížení přispívá i koncentrická aktivita m. tibialis anterior, která má za následek dorzální flexi hlezenního kloubu. V neposlední řadě se excentricky aktivuje m. gluteus maximus, který koná negativní práci, čímž kontroluje míru flexe v kyčelním kloubu. Stabilizátory kyčelního kloubu jsou aktivní v celém průběhu pohybu (Nagano, Komura, Fukushima & Himeno, 2005).

Odrázová fáze

Odrázem rozumíme každý pohyb, jímž uvádíme do pohybu těžiště těla silou dolní končetiny (Robertson, Wilson & Pierre, 2008). Provedení odrazu závisí na základních pravidlech, což je pravidlo tří úhlů (zmenšení úhlu kyčelního, kolenního a hlezenního kloubu) a pravidlo pevné paty. Pravidlem pevné paty se rozumí pozice celého chodidla na zemi

při odrazu, pokud zvláštní poloha těla tuto pozici dovolí. Dále závisí na druhu cvičení a na individuálních vlastnostech cvičence. Při odrazu se konkrétně zapojují extenzory kyčelních kloubů (nejdříve m. gluteus maximus a hamstringy), následně extenzory kolenního kloubu (m. quadriceps femoris, převážně vastus laterális a mediális) a na konec plantární flexory (m. gastrocnemius a m. soleus). Toto zapojení se nazývá jako proximo-distální typ aktivace svalů. Největší silový podíl má na akceleraci m. gluteus maximus, dále plantární flexory a až jako poslední extenzory kolenního kloubu (Čoh et al., 2016).

Letová fáze

V této fázi proband není v kontaktu s podložkou.

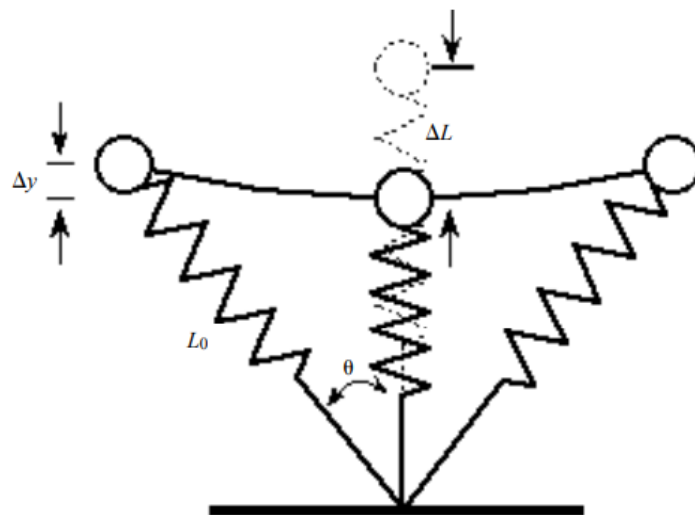
Dopadová fáze

Při dopadové fázi se aktivují stejné svalové skupiny jako při fázi odrazové, ale v opačném pořadí (Robertson et al, 2008). Při dopadu dochází k vyvinutí velké síly podložky vůči tělu tzv. reakční síla podložky, která je měřitelná. Podraza a White (2010) uvádí, že tato síla dosahuje největší velikosti, když dochází v kolenním kloubu při dopadu k flexi z nulového postavení do 25°.

2.2.8.2 Pružinový model

Při běhání, klusání a různých typech skoků se vytváří energie, která působí na podložku, kde je absorbována a vrací se nazpět jako elastická energie (Cavagna, Granzetti, Heglund, & Willems, 1988). Tento SSC zahrnuje svaly, šlachy a vazy, které se střídavě protahují, čímž ukládají a následně uvolňují elastickou energii během doby, co jsou nohy v kontaktu s podložkou. Dlouhá a kompatibilní Achillova šlacha je příkladem pružiny, která ukládá a vrací elastickou energii během pohybu. Při skocích zachovává až 35 % mechanické energie potřebné pro daný pohyb (Cavagna et al., 1988). Účinnost SSC může být hodnocena pomocí skokových testů s využitím různých biomechanických modelů. Nejčastěji využívaným je pružinový model (Laffaye, Choukou, Benguigui, & Padulo, 2016). Pružinový model je pružinový systém, kdy je pohyb pouze vertikální (běh na místě či skoky). Tento model umožňuje přesné předpovědi mechaniky vertikálních skoků na místě (Farley, Glasheen, & McMahon, 1993). V tomto čistě vertikálním modelu je nejdůležitějším faktorem tuhost dolních končetin (LS) a časové intervaly ve vzduchu nebo při kontaktu s podložkou. Z pružinového modelu se dá spočítat LS, která může sloužit ke kvantifikaci množství síly jako funkce pohybu těžiště. Bylo prokázáno, že LS signifikantně koreluje

($r = 0,78$) s úrovní vyvinuté síly během skoku a s maximální rychlostí sprintu na 100 metrů (Laffaye et al., 2016). Experimenty ukazují, že LS se mění více než dvojnásobně, když lidé skáčou na místě s různou frekvencí skoků. Tato tuhost pružiny nohou může být upravena, když se změní míra flexe v kolenním kloubu při kontaktu chodidel s podložkou od 0° do 75° (Greene & McMahon, 1979). Při vertikálním skoku na místě, na rozdíl od pohybu směrem vpřed, je nožní pružina orientovaná svisle po celou dobu, kdy jsou nohy na zemi. Když se tělo pohybuje dopředu, v okamžiku, kdy nohy jsou na zemi, je směr nožní pružiny šikmý (Obrázek 8). Výsledkem je, že vertikální pohyby těla a doba kontaktu se zemí závisí na kombinaci tuhosti pružiny dolní končetiny a úhlu, který pružina musí překonávat (McMahon & Cheng, 1990).



Obrázek 8. Schéma pohybu těla vertikálně a směrem vpřed (Farley et al., 1993).

2.2.8.3 Tuhost dolních končetin a její změny v souvislosti s únavou a ontogenetickým vývojem

Charakteristika tuhosti dolních končetin

V prevenci poranění LCA se ukazuje jako důležitý indikátor tuhost dolních končetin (Hughes, & Watkins, 2006). LS je z biomechanického pohledu definována jako odpor biostruktur k jejich protažení. Skládá se ze dvou částí. Neurofyziologická část se projevuje elektrickou aktivitou měřenou pomocí elektromyografie a viskoelastická část se hodnotí

odporem k protažení svalu (Řupa, 2000). Můžeme ji také rozdělit na aktivní a pasivní tuhost. Aktivní tuhost ukazuje na schopnost vytvořit svalovou sílu a schopnost odolávat deformaci v důsledku pohybu, zvláště přechodu z excentrické do koncentrické akce – například schopnosti svalů kolene odolávat nežádoucím pohybům mezi tibií a femurem (Padua et al., 2006). Je tedy zásadní pro stabilitu kolenního kloubu. Při malém zatížení pasivní struktury kolenního kloubu poskytují stabilitu a zabraňují posunu tibie vpřed. Při náročnějších sportovních aktivitách musí stabilitě kloubu pomoci aktivní svaly. Proto svaly primárně slouží jako aktivní stabilizátory kolenního kloubu během funkčního zatěžování a chrání proti muskuloskeletálnímu poranění (Granata et al., 2002). Vysoká hodnota tuhosti koresponduje s vyšší rychlostí při vývoji síly a s rychlejším ukládáním elastické energie s jejím následným využitím. To umožňuje např. rychlejší odraz při výskoku či sprintu (Brughelli & Cronin, 2008). Zvýšení úrovně této schopnosti přináší snížení pravděpodobnosti nadměrné zátěže na pasivní struktury kolenního kloubu, například LCA (Hughes & Watkins, 2006).

Mezi příčiny změny tuhosti dolních končetin řadíme jak změnu kloubní vůle (joint play), tak i změnu ve svalech, které kloub obklopují. Oboje výsledně může vést k omezení pohybu v kloubu. Kosterní sval obsahuje aktivní a pasivní složky bez motorické inervace. Aktivní složky inervují motoricky jednotlivá svalová vlákna, na rozdíl od pasivních. O těchto pasivních složkách se nedá říci, že se chovají pasivně, protože při svém protažení kumulují energii, která se následně využívá při jeho uvolnění (Řupa, 2000).

Poměr těchto dvou složek bude hrát významnou roli při hodnocení celkové tuhosti. Bezprostředně po fyzické aktivitě se předpokládá rozdíl, kdy by měl teoreticky převažovat spasmus svalových vláken, což je neurofyziologická složka. Stejně tak se rozdíl předpokládá u vazivově zkráceného svalu, který je dlouhodobě přetěžován a měla by převažovat viskoelastická část (Řupa, 2000).

Hodnocení svalové tuhosti poskytuje signifikantní informace vztahující se k dopředné aktivitě. Dopředná aktivita je popisována jako očekávání příchodu stimulu a je charakterizována preventivní svalovou aktivitou. Tato informace je podstatná zvláště v případě rizika zranění po dopadu na zem nebo změně směru (Oliver & Smith, 2010).

Dopředná aktivita je ovlivněna propioceptivními mechanismy, které se vyvíjí během růstu. Představuje očekávání známých podnětů (např. připravenost svalů kolenního kloubu na očekávaný dopad z výskoku) a vyznačuje se preventivní svalovou činností. Uvedené informace jsou důležité zejména z hlediska nebezpečí zranění plynoucího z dopadu

po výskoku či změně směru pohybu (Oliver & Smith, 2010). Ukazuje se, že dospělí jsou schopni vyvinout větší dopřednou aktivitu, než děti a dospívající (Lloyd, Oliver, Hughes, & Williams, 2009). Omezenou dopřednou aktivitu hamstringů u dětí oproti dospělým potvrzují také studie Lazaridis et al. (2010) a Russell, Croce, Swartz a Decoster (2007). Tato data podporují myšlenku, že neuromuskulární mechanismy dopředné aktivity jsou více využívány u dospělých oproti dětem, což poskytuje zajímavý vhled na neuromuskulární dopředné mechanismy (Lehnert et al., 2019). Zmíněná skutečnost naznačuje, že děti a dospívající mládež jsou rizikové skupiny pro výskyt zranění (Oliver & Smith, 2010). V rámci prevence zranění se sledují změny vyvolané ve svalově-šlachovém systému, které mohou tréninkem usnadnit zvýšenou odezvu dopředné odpovědi, která se zdá být přesvědčivá jako pozitivní adaptace v rámci SSC (Lloyd, Oliver, Hughes, & Williams, 2012b).

Hodnocení tuhosti dolních končetin

Tuhost dolních končetin může být měřena při funkčních úkolech jako je běh nebo vertikální skok. Je otázkou, zda testování LS hodnotí mechanickou tuhost. Autoři se přiklání k dynamice skoků a běhu, které mohou reprezentovat pružinový model. Tuhost dolních končetin je přičítána snaze dostat aktivní tuhost kloubu pod kontrolu, čímž se ovlivní biomechanická stabilita (Granata et al., 2002). Z funkčních testů se používají skoky (Granata et al., 2002), zvláště ty s maximální rychlostí provedení skoků (Chelly & Denis, 2001), dále se hodnotí např. ekonomika běhu (Kerdok et al., 2002). LS se tradičně měří v laboratoři (ale není to podmínkou) s využitím silových plošin (Granata et al., 2002).

Pro stanovení LS se dá využít mnoho typů skoků, ze kterých se tento parametr dá dopočítat. V roce 2004 popsali autoři Dalleau et al. jako jednu z možností kvantifikace tuhosti dolních končetin výpočet z kontaktních časů, doby letu a tělesné hmotnosti. Podstatné pro hodnocení LS je spojitost s pružinovým modelem (Granata et al., 2002). Mezi skoky primárně řadíme ty, kde je vyvinuta submaximální intenzita:

- 20 opakujících se skoků na kontaktní plošině se submaximální intenzitou (frekvence skoků od 2,0 Hz po 2,5 Hz; Lloyd, et al., 2009),
- skoky na silové plošině na obou dolních končetinách s rukama v bok po dobu 10 s, se změnou frekvence od 1,8 do 4,0 Hz a udržením této frekvence pomocí elektronického metronomu (Dalleau et al., 2004).

Dle studií Dalleau et al. (2004), Laffaye et al. (2016) a Lloyd et al. (2009) se ukazuje, že tuhost dolních končetin se dá též dopočítat z maximálních skoků:

- deset maximálních skoků na silové plošině pokryté kontaktním kobercem se snahou udržet co největší extenzi dolních končetin a ruce v bok,
- skoky na kontaktní plošině s maximální intenzitou (pět maximálních skoků).

Změny tuhosti dolních končetin v souvislosti s únavou a ontogenetickým vývojem

Předchozí výzkumy ukázaly, že regulace tuhosti končetin může hrát důležitou roli při optimalizaci pohybu člověka. Například bylo prokázáno, že tuhost končetiny se zvyšuje při běhu a při zvýšené frekvenci kroků. Schopnost zvyšovat a udržovat vysokou tuhost se považuje za důležitý faktor maximálního výkonu (Arampatzis, Brüggemann, & Metzler, 1999). V současnosti existuje pouze několik studií zaměřených na hodnocení změn LS v důsledku zatížení. Výsledky jednotlivých studií se však neshodují.

Studie zaměřené na sledování LS po únavovém protokolu nebo po simulovaném utkání zaznamenaly nárůst hodnot LS (Comyns, Harrison, & Hennessy, 2011; Dutto & Smith, 2002; Padua, et al 2006), pokles (De Ste Croix, Hughes, Lloyd, Oliver, & Read, 2017; Lehnert, et al., 2017) nebo nezaznamenaly žádné signifikantní změny (Morin, Jeannin, Chevallier, & Belli, 2006; Oliver, De Ste Croix, Lloyd, & Williams, 2014).

Nárůst LS vlivem systematického dlouhodobějšího tréninkového procesu zaznamenali autoři Grosset et al. (2007), Lloyd, Oliver, Hughes a Williams, (2012b) a Ramirez-Campillo et al. (2018).

Ukazuje se, že absolutní tuhost dolních končetin roste s věkem. Mezi 11. a 20. rokem vzrostla z $24,7 \pm 10,6 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$; v 11–12 letech na $44,1 \pm 14 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$; v 19–20 letech, kdy do 16 let došlo k malému nárůstu (+17 %) a následně k velkému nárůstu mezi 17. a 20. rokem (+ 32,7 %; Laffaye et al., 2016). Dle této studie je věk mezi 15. a 16. rokem mezníkem zrání, kde chlapci dokáží účinněji využívat SSC. Výsledky této studie podporují další autoři. Wang, Lin a Huang (2004) došli k závěru, že chlapci ve věku 18 let mají 2,1krát vyšší LS než chlapci ve věku 6 let. Chlapci ve věku 16–18 let měli vyšší hodnoty než ve věku 11–13 let, i když se v tomto případě jednalo o relativní tuhost dolních končetin (Korff, Horne, Cullen, & Blazeovich, 2009).

2.2.8.4 Reaktivní síla a její změny v souvislosti z únavou a ontogenetickým vývojem

Charakteristika reaktivní síly

Tělesné zatížení je také spojeno se změnou reaktivní síly (Toumi et al., 2006). Reaktivní síla je schopnost vytvořit co největší silový impulz v SSC. Reaktivní síla se uplatňuje v řadě pohybů (nejčastěji odrazové či odhodové). Mezi cykly natažení a zkrácení svalu dochází ke krátké amortizační fázi, kdy se ve svalu nahromadí elastická energie, která je využita v následné fázi zkrácení svalu. Ve fotbalu a basketbalu je tato síla využívána především v plyometrických pohybech, zahrnující výskoky či změny směru ihned po dopadu na podložku (Lehnert et al., 2012). Kromě již zmíněné tuhosti dolních končetin se SSC dá hodnotit pomocí reaktivní síly, konkrétně pomocí reaktivního silového indexu (RSI; Laffaye et al., 2016). RSI a LS představují dva různé nástroje k popisu schopnosti sportovce rychle změnit excentrickou akci na koncentrickou během skokové dynamické aktivity (Laffaye et al., 2016). RSI lze považovat za rizikový faktor zranění (Toumi et al., 2006) a ukazuje se, že jeho nízké hodnoty jsou spojené se sníženou funkcí SSC (Lloyd et al., 2009). Tento předpoklad byl potvrzen v 10leté studii zkoumající rizikové faktory LCA, kde nízké hodnoty RSI byly jedním z osmi signifikantních prediktorů poranění LCA (Raschner et al., 2012). Studie Müller, Hildebrandt, Müller, Fink a Raschner (2017) podporují zjištění, že sportovci s vyšším RSI mají nižší riziko zranění a jsou více odolní, což bylo hodnoceno pomocí kratšího času absence na trénincích a závodech. Flanagan, Ebben a Jensen (2007) uvádí, že RSI se používá k monitorování napětí přenášeného na šlachy během plyometrického cvičení. Lze jej považovat za charakteristiku „výbušnosti“ jako jsou odrazové schopnosti testovaného jedince (Flanagan & Comyns, 2008). Tento průběh přechodu excentrické akce na koncentrickou akci se děje rychle po sobě, kdy rychlé aktivní protažení svalu je následováno okamžitým zkrácením. Celý cyklus trvá přibližně do 250 ms. Využitím tohoto principu získá hráč lepší mechanickou účinnost pohybu. (Lehnert et al., 2017). Jednotlivé SSC cykly tvoří základ lidské lokomoce (Komi & Gollhofer, 1997).

Hodnocení reaktivní síly

Měření reaktivní síly bylo dříve prováděno v laboratořích za poměrné složitosti, finanční a časové náročnosti. V dnešní době se používají spíše alternativní metody měření, které jsou levnější a dostupnější. Pro toto měření se dají využít kontaktní podložky, z kterých je možné vyhodnotit dobu oporové a bezoporové fáze a následně výšku skoku či silovou plošinu pro jednotlivé vertikální skoky (Granata et al., 2002).

RSI se vypočte jako poměr výšky skoku (m) a doby kontaktu (s) (Flanagan & Comyns, 2008). Pro stanovení RSI se dá využít mnoho typů skoků, ze kterých se tento parametr

dá dopočítat. Tyto skoky většinou zahrnují maximální sílu (Dalleau et al., 2004). Mezi takovéto skoky řadíme:

- skoky na kontaktní plošině s maximální intenzitou (pět maximálních skoků; Lloyd, et al., 2009; Lloyd, Radnor, De Ste Croix, Cronin, & Oliver, 2015),
- deset maximálních skoků na silové plošině pokryté kontaktním kobercem se snahou udržet co největší extenzi dolních končetin a ruce v bok (Dalleau et al., 2004),
- skok po seskoku z vyvýšeného místa (drop jump; Fitzpatrick, Akenhead, Russell, Hicks, & Hayes, 2019)
- skoky na silové plošině na obou dolních končetinách s rukama v bok po dobu 10 s, se změnou frekvence od 1,8 do 4,0 Hz a udržením této frekvence pomocí elektronického metronomu (Dalleau et al., 2004).

Změny reaktivního silového indexu v souvislosti s únavou a ontogenetickým vývojem

U mládeže se této problematice věnoval De Ste Croix, Priestley, Lloyd, & Oliver (2015) a také De Ste Croix et al. (2019), kteří došli k závěru, že po utkání dochází k signifikantnímu poklesu RSI. Stejně tak i studie Lehnert et al. (2017) a Lehnert et al. (2019). Naopak nárůst zaznamenali u dospělých a žádné signifikantní změny nezjistili (Thorpe et al., 2015; Varley, Lewin, Needham, Thorpe, & Burbeary, 2017).

Vlivu dlouhodobého tréninkového zatížení na RSI se věnovala studie Lloyd, Radnor, De Ste Croix, Cronin a Oliver (2015), kteří zaznamenali nárůst hodnot RSI u skupin před a po PHV.

Rovněž další studie hodnotící RSI z hlediska věku došla k závěru, že u 12 a 15letých došlo signifikantně k vyšší RSI než u 9letých během maximálního skokového testu (Lloyd et al., 2012b). Ukazuje se, že RSI roste s věkem (Giminiani & Visca, 2017; Laffaye et al., 2016).

2.2.9 Preventivní programy

U mladých fotbalistů ve věku 9-13 se objevují funkční a motorické deficity, které jsou spojené se změnami biomechaniky pohybu a mohou následně vést ke zranění. Tyto deficity je možné odstranit dobře připravenými preventivními tréninkovými programy, které současně snižují riziko poranění LCA u sportovců (Renstrom et al., 2008).

Preventivní programy by měly obsahovat silová cvičení, neuromuskulární trénink, plyometrické cvičení a trénink agility, přičemž by měly začínat vhodnou rozcvičkou. Zaměření hlavní části by mělo být na linii: kyčelní kloub – kolenní kloub – chodidlo. Konkrétně by se mělo jednat o dynamické zatížení tibiofemorálního kloubu během neuromuskulárního a proprioceptivního tréninku. Důraz by měl být kladen na dopad na přední část chodidel, lépe na obě dolní končetiny a změnu směru pohybu. Hráči v takových programech trénují vyhýbání se nadměrné valgozitě při dynamickém zatížení a zaměřují se na pozici kolena přes špičku při změně směru pohybu. Udržitelnost a pravidelnost by měla být další zásadou k minimalizaci rizika poranění. Je nutné, aby byl program dobře přijat jak trenéry, tak hráči (Renstrom et al., 2008). Mezi tyto programy řadíme také 12týdenní smíšený tréninkový program. Obsahem tohoto programu je správné rozcvičování dle individuálních potřeb každého hráče s dynamickým a statickým strečinkem a dále silové a stabilizační cviky (Schneider, Wiegand, Braumann, & Wollesen, 2019).

Přínos znalosti preventivních programů pro trenéry ukázala studie Procházka a Lehnert (2019). Studie hodnotila přínos jednodenního workshopu o preventivních programech pro fotbalové trenéry. Autoři mj. konstatují, že kombinace teoretické a praktické části se jeví jako vhodný prostředek ke zvýšení vzdělanosti trenérů a tím nepřímému ovlivnění výskytu poranění. Proto je důležité pracovat nejen na monitoringu motoriky, ale také prevenci funkčních a motorických deficitů.

2.3 Únava a zotavení

Únava je popisována jako fyziologický komplexní jev, kdy dochází k signalizaci funkčních změn v organismu, které se manifestují ve změnách regulačních struktur. Jedná se o změny od centrálního nervového systému až po změny na periférii (Zajac, Chalimoniuk, Maszczyk, Gołaś, & Lngfort, 2015). Únava vyvolaná zatížením organismu je svalová únava. Je charakterizována jako cvičením vyvolaná snížená schopnost svalů vytvářet sílu. Jedná se o ochranný a obranný mechanismus organismu vzniklý útlumem aktivity centrální nervové

soustavy (Padua et al., 2006). V tomto případě se jedná o únavu fyziologickou. Pokud sportovec nerespektuje tento dynamicky nastupující proces s kulminací a postupným vymizením v rámci zotavení, přechází fyziologická únava na patologickou. S tou jsou spojeny negativní účinky (Meeusen et al., 2012). Únava může být způsobena centrálními nebo periferními faktory. Centrální faktory zahrnují změnu rychlosti frekvence zapojováním motoneuronů, sníženou aktivitu neurotransmiterů, změnu excitability kůry a inhibici spinální zpětnovazebné excitability. Periferní únava může vzniknout jako výsledek zhoršené salvy akčních potenciálů, šíření a uvolňování vápníku nebo pokles enzymové aktivity prostřednictvím lokální acidózy (Barber-Westin & Noyes, 2017). Únava následně ovlivňuje další biomechanické faktory jako je kinematika a kinetika pohybu s koaktivací, čímž dochází ke zhoršení kvality složitých pohybů např. během fotbalového utkání (Padua et al., 2006).

Únava jako důsledek akutního zatížení či dlouhodobého zatěžování zvyšuje riziko poranění kolenního kloubu. Mladí fotbalisté jsou během fotbalových tréninků často vystavováni velkým tréninkovým objemům a vysoké intenzitě, proto správná manipulace s těmito složkami zatížení je mj. nutná pro prevenci nadměrné únavy (Pfirrmann et al., 2016).

2.3.1 Neurofyziologické mechanismy únavy, vliv na svalová vlákna

U člověka rozlišujeme dvě hlavní příčiny únavy. Jde o únavu, která vzniká během svalové činnosti (pokles výkonnosti a neschopnost pokračovat v další práci) anebo únavu „mentální“, eventuálně o kombinaci obou těchto příčin (Máček & Radvanský, 2011).

Při svalové práci může vznikat únava z důvodu poruchy řízení a kontroly pohybu v mozku, může se však objevit i porucha svalové akce ve svalovém vlákně např. zapojování aktinu a myosinu nebo se jedná o poruchu řídicího motoneuronu daného svalového vlákna. Některé projevy je možné sledovat na záznamu akčních potenciálů elektromyografie (zpomalení a snížení frekvence, ale pouze v extrémních podmínkách; Máček & Radvanský, 2011).

Ukazuje se, že produkcí laktátu, jehož hladina může dosáhnout až 25-30 mmol . kg⁻¹ svalové hmoty, klesají zásoby kreatinu a adenosintrifosfátu. Stejně tak klesá i lokální pH ze 7,0 na 6,4 a tím vzniká metabolická acidemie. Na základě starších studií by tím mělo dojít ke stavu intoxikace a blokáde další syntézy adenosintrifosfátu v mitochondriích za současného hromadění se katabolitů a kyslíkových radikálů. Ionty Ca²⁺ by měly tomuto stavu zabránit. To by měl být objektivní podklad subjektivního stavu vyčerpání. Novější studie ukazují, že nástup únavy není při izometrické akci a dynamické práci vázán na nervové

řízení a vznik svalové acidózy není vyvolán produkcí laktátu. Proto se dnes považuje vznik únavy spíše jako následek vyčerpání energetických zdrojů. Existují tři hypotézy o tom, proč je nedostatečný přísun živin: vyčerpání energetických zásob k vykonání svalové akce, deficit kyslíku jako podmínky ke spalování nebo snížení kapacity svalu využívat potřebné látky (Máček & Radvanský, 2011).

Existují odlišnosti v únavě při dynamické a statické práci. Při dynamické práci nastává tzv. kritický výkon, což je maximální výkon. Při tomto výkonu jedinec nepřekročí vyčerpání energetických zásob. Kdyby se tak stalo, musel by danou činnost přerušit. Při dynamické práci dochází k vyššímu prokrvení svalů během svalové akce a relaxace, proto únava přichází později než při statické práci (Máček & Radvanský, 2011). Mezi hlavní činitele podílejících se na vzniku únavy patří: vápník, intersticiální kalium a nedostatek energetických zdrojů.

Na vzniku únavy se může podílet také horko, nedostatek spánku, porucha cirkadiálních rytmů, popř. onemocnění či přetížení zrakových a sluchových sensorů (Máček & Radvanský, 2011). Rychlost průběhu zotavných procesů je podle Lehnerta et al. (2014) vysoce individuální záležitostí. Faktory, které průběh ovlivňují jsou velikost a druh adaptačního podnětu, úroveň trénovanosti, věk jedince, genetické predispozice nebo okolní podmínky.

2.3.2 Metody hodnocení únavy

Monitorování únavy má mnoho opodstatnění, mezi která patří informovanost o připravenosti hráče a jeho akutním stavu s ohledem na onemocnění či poranění, dále sledování tělesné výkonnosti jedince během soutěžního období. Základním požadavkem na monitoring je rychlost, jednoduchost a minimalizace dalšího zatěžování sportovce. Proto jsou vhodné monitorovací techniky jako self-report dotazníky, hodnocení autonomního nervového systému pomocí indexů odvozených od srdeční frekvence a skokové testy. V poslední řadě jsou vhodné také záznamy frekvence, trvání a intenzitě tréninkového zatížení (Thorpe, Atkinson, Drust, & Gregson, 2017). Tyto základní požadavky je nutné dodržovat právě u fotbalu, kde je krátký čas na zotavení mezi jednotlivými utkáními, která se mohou vyskytovat i 2-3krát týdně (Thorpe, et al., 2017).

Metody hodnocení únavy lze dělit na obecné a periferní (Barber-Westin & Noves, 2017). V uvedené studii autoři analyzovali 20 studií ověřujících obecné protokoly a 17 studií ověřujících periferní protokoly. Obecné protokoly zahrnovaly různé úkoly, např. vertikální skoky, dřepy, skoky po seskoku z vyvýšeného místa. Všechny tyto testy trvaly do vyčerpání

testovaného jedince nebo po předem určenou dobu; u vytrvalostních testů byl brán ohled na délku trvání fotbalového utkání. Únava se hodnotila tepovou frekvencí nebo škálami. Periferní protokoly se zaměřovaly na specifické svaly nebo svalové skupiny.

Dotazníky

Dotazníky k samohodnocení sportovce (Athlete Self-Report Measures, ASRM) jsou používány k celkovému hodnocení stavu sportovce. Jedná se o krátké dotazníky, které prokázaly velkou citlivost na akutní a chronické zatížení. Dotazníky ASRM využívají psychometrické stupnice, které jsou citlivé na každodenní změny, týdenní změny a změny během RTC. Denní záznam se skládá z únavy, kvality spánku, stresu, nálady a bolesti svalů. Tyto údaje významně korelovaly s každodenním tréninkovým zatížením (Gallo, Cormack, Gabbett, & Lorenzen, 2017; Gatin, Meyer, & Robinson, 2013; Thorpe, et al., 2017). Současně byly také vytvořeny rozsáhlé dotazníky, které není možné používat na denní bázi vzhledem k jejich délce (např. POMS, DALDA, TQR, REST-Q; Coutts et al., 2007).

Vizuální analogová škála (VAS; 0–100) je jednou z nejpoužívanějších škál používaných pro hodnocení vnímání bolesti, únavy a zotavení (Halson, 2014). Potvrdilo se, že VAS je schopná identifikovat stav únavy sportovce (Schaal et al., 2013). Pro záznam se využívá úsečka, jejíž konce jsou označeny číslicemi 0 a 10. Nulou se označuje žádná bolest na levé straně úsečky a desítkou nesnesitelná bolest označená na pravé straně úsečky. Sportovec vyznačuje na přímku intenzitu míry bolesti, kterou cítí (Křivohlavý, 1992).

Reakce autonomního nervového systému

Autonomní nervový systém je propojen s mnoha fyziologickými funkcemi, proto se tyto indikátory využívají k hodnocení celkové adaptační a únavové situací sportovce. Využívají se zvláště ukazatele odvozené od srdeční frekvence: klidová srdeční frekvence, submaximální srdeční frekvence, variabilita srdeční frekvence, zotavení srdeční frekvence (Achten & Jeukendrup, 2003).

Fyzický výkon

Testování fyzického výkonu naráží na zásadní problém, kterým je další vyčerpávání sportovce a časová náročnost testovaných sportovců či celých týmů. Fyzický výkon se dá testovat pomocí sprintu, opakovaných sprintů. Dalším vhodným nástrojem jsou skoky nebo maximální volní akce (Andersson et al., 2008; Fatouros et al., 2010; Ispirlidis et al., 2008). Výsledky takovýchto testů přináší důležité informace pro sportovce. I přesto

se sportovcům nedoporučují z důvodu velké fyzické a mnohdy i časové náročnosti. V případě týmu se navíc musí jednat o rychlé a zvláště efektivní testování, aby nenarušilo chod tréninkového a soutěžního zatěžování (Thorpe, et al., 2017).

Neuromuskulární funkce

Různé typy skoků jako je výskok z podřepu nebo vertikální skok z místa byly využity k testování obnovení neuromuskulárních funkcí po zatížení v utkání se signifikantním snížením rizikových hodnot (Andersson et al., 2008; Fatouros et al., 2010; Ispirlidis et al., 2008). Vertikální skok z místa není citlivým ukazatelem měření neuromuskulárního stavu u anglické Premier League. Ani měření výšky skoku není dostatečně senzitivní k odhalení změn v tréninkové zátěži. Navíc samotná výška vertikálního skoku z místa může maskovat alternativní neuromuskulární mechanismy a citlivost na změnu zatížení (Gathercole, Sporer, Stellingwerff, & Sleivert, 2015).

Neuromuskulární parametry (trvání excentrické svalové akce, koncentrické svalové akce a celkové trvání, čas k dosažení maximální síly a rychlosti, doba letu, čas svalové akce) odvozené z vertikálního skoku z místa byly shledány jako vhodné pro detekci neuromuskulární únavy. V jiné studii (Cormack, Newton, & McGuigan, 2008) byly testovány silové a časové parametry jako doba letu, čas svalové akce, které odhalily citlivost na sledování v průběhu RTC.

Rozsah pohybu, flexibilita

Rozsah pohybu (ROM) patří do základního testování mnoha elitních týmů na začátku každého RTC. Co však je omezené, jsou data ze vztahu k pohybovému zatížení a zatěžování při utkání. Hodnocení rozsahu pohybu během soutěžního období poskytuje cenné informace o únavě a potenciálnímu riziku poranění v porovnání pouze s hodnocením před začátkem soutěžního období RTC. Kolennímu kloubu se věnovaly studie Ispirlidis et al. (2008) a Mohr et al. (2016), které poukazují na zmenšení rozsahu pohybu až o 7 % po utkání (24 hod., 48 hod.). Měření v oblasti třísla a rozsahu pohybu kyčelního kloubu též ukázalo na vhodnost pro stanovení rizika poranění (Paul et al., 2014).

Biomechanické, hormonální odpovědi a biomarkery

Únava má vliv na biomechanické provedení jednotlivých testů zvláště při dopadu. Provedení dopadu se zhoršuje s únavou a je spojeno se zvětšením valgozity kolenního kloubu, omezením flexe kolenního i kyčelního kloubu, nárůstem tibiálního posunu a rotace (Bruton,

O'Dwyer, & Adams, 2013; Fox, Bonacci, McLean, Spittle, & Saunders, 2014). Nárůst rizika poranění kolenního kloubu následkem zhoršení neuromuskulárního řízení by mohlo být v důsledku přetrvávajících abnormálních a nebezpečných strategií dopadu (Padua et al., 2006).

Monitoring hormonálních změn při aktuálním zatížení může být prováděno pomocí hodnocení poměru testosteronu vůči kortizolu. Ukazuje se, že jejich vzájemný poměr se snižuje s narůstající dobou a intenzitou zatížení (Duclos, 2008).

K hodnocení stavu poškození svalu (muscle damage) se používají různé biomarkery jako kreatin kináza (vzrůstá bezprostředně po utkání a navrácí se zpět mezi 48 až 120 hod.; Thorpe & Sunderland, 2012) nebo interleukin 6, který vrcholí ihned po utkání a po 24 hod. se vrací (Mohr, et al. 2016). C reaktivní protein (nárůst o 50 %, 48 hod. po utkání) a kyselina močová (vrcholí 72 hod. po utkání) se více ukazují jako zánětlivé markery (Mohr, et al. 2016; Ispirlidis, et al., 2008). Další studie ukazují, že kortizol a testosteron vzrůstají 48 hod. po utkání (Mohr, et al. 2016), imunoglobulin A ze slin se stal populární v hodnocení imunity sliznice. Hlavním problémem daných měření je nepraktičnost a mnohdy vysoká cena (Morgans, Owen, Doran, Drust, & Morton, 2015).

Metody hodnocení únavy by měly být neinvazivní, časově nenáročné, s minimalizací dalšího zatěžování sportovce (krátká doba k obnovení zásob kvůli tréninkovému či soutěžnímu programu) a s rychlým vyhodnocením, ideálně v daný moment, kvůli velkému množství sportovců v týmu. Nejvhodnější se jeví dotazník se 4–12 položkami. Je ale důležité, aby dotazník co nejvíce odpovídal konkrétním podmínkám týmu. Vzhledem k různosti fyzické zátěže jednotlivých hráčů při utkání je těžké monitorovat zatížení při utkání. Mnohem reálnější a využitelnější je sledovat hráče při tréninku, který mají všichni stejný. Vnitřní zátěž může lépe odhalit riziko zranění než vnější, proto je třeba spojit objektivní a subjektivní metody hodnocení (Halson, 2014). Tato kombinace by pak mohla sloužit ke kvantifikaci únavy a sledování rizik zranění (Thorpe, et al., 2016).

2.3.3 Zotavení

Kromě sledování zatížení a zatěžování je současně nutné mít dostatek informací o procesu zotavení sportovce. Proces zotavení je složitý a každý systém se zotavuje jinak. Měl by však následovat po každém tréninkovém zatížení. Některé procesy probíhají průběžně během tréninkového zatížení. Jedná se o tzv. fázi prvního průběžného zotavování (Choutka & Dovalil, 1991). Nejrychleji se uklidní transportní systém, což je oblast druhé fáze zotavení,

a to bezprostředně po zatížení, která trvá několik desítek min.. V tomto čase se vrací 80-85 % systémů do výchozích hodnot. Ve třetí fázi dlouhodobého zotavování dochází k definitivnímu odstranění laktátu, které trvá několik hod.; nastavení rovnováhy kyslíku a oxidu uhličitého v tělních tekutinách se odhaduje cca na 12 hod.. Nedílnou součástí této fáze jsou i projevy superkompenzace, které jsou považovány za rozhodující projev účinnosti tréninkového zatížení. Zotavení bývá provázeno únavou (Choutka & Dovalil, 1991; Máček & Radvanský, 2011). Průběh zotavení není rovnoměrný, můžeme pozorovat odlišný průběh v počáteční a pozdější fázi (Perič & Dovalil, 2010).

Specificky u cvičení obsahujících SSC se uvádí, že zotavení má dvě fáze charakterizované poklesem sportovního výkonu, po kterém dojde k přechodnému zotavení a následně k dalšímu poklesu s vrcholem mezi 48 a 72 hod. od zatížení (Cormack, Newton, & McGuigan, 2008).

Během fází zotavení se odehrává hlavní efekt tréninkových podnětů, v níž se zhodnocuje kvalita a kvantita celého tréninkového zatížení. Dochází při ní k „výstavbě“ sportovní výkonnosti, která má mnohdy zásadní a rozhodující důsledky. Proto je snahou vytvořit pro sportovce optimální podmínky k odpočinku. Odlišnosti v průběhu zotavování jsou uváděny též v závislosti na charakteru zatížení. Dle studie Andersson et al. (2008) se po zatížení nejrychleji obnovila maximální běžecká rychlost, která se k původním hodnotám vrátila po 5 hod. po utkání, následovala isokinetická síla při extenzi kolenního kloubu po 27 hod. a při flexi kolenního kloubu po 51 hod.. Výška výskoku z podřepu se nevrátila na původní hodnoty před dalším utkáním i přesto, že svalová síla hamstringů i m. quadriceps byla obnovena (Anderson et al., 2008).

Urychlení a zkvalitnění procesů jednotlivých fází zotavení může sportovci výrazně pomoci. Např. druhá fáze zotavení, která se odehrává desítky min. po zatížení, má význam nejen pro předchozí tréninkové zatížení a jeho důsledek, ale také pro přípravu na příští zatížení. Průběh dlouhodobého zotavení podmiňují také další faktory např. životní režim, stravování, psychická pohoda, které mohou mít podíl na celkovém efektu zotavení. Prostředky a metody, které zefektivňují zotavné procesy, nazýváme regenerací (Choutka & Dovalil, 1991).

Kotzamanidou et al. (2005) popsali rozdíly v zotavení mezi předpubertálními a dospělými jedinci pomocí únavového protokolu. Signifikantně rychlejší navrácení k optimálnímu stavu bylo u dětí oproti dospělým; zapojení jejich agonistů do funkce

hodnocené pomocí elektromyografie bylo rychlejší také u dětí. Nicméně žádné věkové rozdíly nebyly pozorovány u funkce antagonistů. Autoři vysvětlují rozdíl nižší distribucí akčního potenciálu, rychlejším odstraněním metabolických produktů a rychlejší resyntézou adenosintrifosfátu.

2.3.4 Regenerace v praxi

Regeneraci můžeme dělit na aktivní a pasivní. Můžeme ji urychlit nebo nastartovat různými technikami či metodami. Studená voda a chlad se celkově ukazují jako ideální aktivní regenerace podporující pozitivní fyziologické změny, které je třeba zařadit do jedné hod. po ukončení utkání/tréninkového zatížení (Wilcock, Cronin, & Hing, 2006). Možnostmi jsou buď malé studené bazény, nebo velké vany, ideálně by mělo dojít k ponoření celého těla mimo hlavy, avšak efektivní je rovněž ponoření pouze dolních končetin. Používá se buď pouze studená voda (10–15 °C, celkově po dobu 15 min., vždy 1 min. ve studené vodě, 1 min. odpočinek) nebo kontrastní terapie (10–15 °C studená, > 36 °C horká voda, celkově 15 min., 1 min. ve studené, 1 min. v horké vodě). Dle autorů Versey, Halson a Dawson (2013) se jedná o dvě neefektivnější formy regenerace s tím, že pokud nemáme k dispozici vanu, stačí sprcha.

Další vhodnou formou je výklus, jako varianta aktivního odpočinku, jízda na cyklistickém trenažéru nebo plavání v intenzitě 60 % maximální tepové frekvence. Při tomto druhu regenerace dochází ke zlepšení krevního průtoku celým tělem (Bernaciková et al., 2013). Masáž zlepšuje prokrvení svalstva, zvětšuje rozsah pohybu a snižuje hodnoty stresového hormonu kortizolu po zatížení. Masáž je zásadní zařadit minimálně jednu hod. po ukončení zátěže; v případě, že se jedná o vyčerpávající vytrvalostní charakter pohybové aktivity, je nutné ji zařadit až následující den (Chua, Kawabata, Burns, Cai, & Kong, 2016). Spánek jako pasivní druh regenerace je též velice podstatný a v poslední době se kvalita i délka spánku zkracuje vlivem faktorů jako vyšší pracovní nároky, vyšší nároky na cestování, delší čas k socializaci, přehnané sledování TV a zábavných technologií (Basner et al., 2007). Adekvátní délka spánku je 6–8 hod., kdy dochází k sekreci růstového hormonu, který podněcuje proteosyntézu (Elliot & Weitzman, 1976). Zásadní je pak pevný denní režim.

Nedílnou součástí regenerace je také správná výživa, pitný režim a využívání doplňků stravy. Příjem sacharidů ve výši 1,2 g/kg do 30 min. po zátěži nastartuje včasnou obnovu glykogenu. Příjem plnohodnotných bílkovin ve výši 0,2–0,4 g/kg nebo 20–40 g jednorázově příznivě ovlivňuje regeneraci svalové tkáně (Bernaciková et al., 2013). Na každý kilogram

ztracené tělesné hmotnosti potom je potřeba přijmout 1–1,5 l nápoje s koncentrací sodíku 20–50 mmol/l. Omega-3 mastné kyseliny společně s vitamínem D a stravou bohatou na pestrou škálu ovoce a zeleniny mají příznivý vliv na celkovou regeneraci (Heaton et al., 2017).

2.4 Shrnutí syntézy poznatků

Z epidemiologických studií vyplývá, že se počet zranění u mladých fotbalistů stále zvyšuje, a že mezi nejzávažnější zranění patří zranění kolenního kloubu, především zranění LCA. Nekontaktní poranění LCA a svalová zranění jsou především způsobena nedostatečnou stabilitou zajišťovanou dynamickými a pasivními mechanismy stability kolenního kloubu. Ukazuje se, že s narůstající únavou se snižuje kvalita neuromuskulárního řízení a zvyšuje se riziko zranění. Jde především o to, že únava snižuje neuromuskulární řízení dynamických stabilizátorů kolenního kloubu a kolenní kloub je častěji v pozici, kdy šlachy a vazivové struktury jsou pod velkým tlakem, což může vést k jejich poranění. Únava může být vyvolaná zatížením v utkání či tréninku, anebo se může kumulovat v průběhu celého soutěžního období. K nárůstu rizika zranění kolenního kloubu dochází ve věkovém rozmezí mezi 13 a 16 rokem života, kdy se mění neuromuskulární řízení vlivem růstu a zrání jedince. Ze současných poznatků vyplývá, že ke snížení incidence nekontaktních zranění kolenního kloubu by mohly přispět výsledky výzkumných sledování využívající rizikové faktory jako tuhost dolních končetin nebo reaktivní síla, které jsou modifikovatelné. Existuje však nedostatek studií ověřujících sledování změn indikátorů těchto faktorů vyvolaných únavou a v souvislosti s věkem, růstem a zráním. Z výše uvedených důvodů se tato disertační práce zaměřuje na posouzení tuhosti dolních končetin a reaktivního silového indexu u adolescentních fotbalistů v těchto souvislostech.

3 CÍLE PRÁCE

Hlavní cíl

Hlavním cílem je posoudit u adolescentních fotbalistů změny neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu jako rizikového faktoru zranění ve vymezeném období sportovní přípravy se zvýšeným výskytem zranění.

Dílčí cíle

1. Zjistit, jaké změny neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu a tím i rizika zranění způsobí únava vyvolaná soutěžním utkáním u mladých fotbalistů kategorie U14 a U16.
2. Zhodnotit změny neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu jako rizikového faktoru pro účely posouzení potenciální kumulace únavy během soutěžního období u mladých fotbalistů kategorie U14 a U16.
3. Zjistit efekt chronologického věku na neuromuskulární řízení stability kolenního kloubu jako rizikového faktoru u mladých fotbalistů v důležitém období vývoje.

Hypotézy

H1: Zatížení v soutěžním utkání snižuje tuhost dolních končetin u fotbalistů kategorie U14 a U16.

H2: Zatížení v soutěžním utkání snižuje reaktivní sílu dolních končetin u fotbalistů kategorie U14 a U16.

H3: Kumulace soutěžního a tréninkového zatížení v průběhu soutěžního období snižuje tuhost dolních končetin u fotbalistů kategorie U14 a U16.

H4: Kumulace soutěžního a tréninkového zatížení v průběhu soutěžního období snižuje reaktivní sílu dolních končetin u fotbalistů kategorie U14 a U16.

H5: Tuhost dolních končetin se v průběhu tří sledovaných let zvyšuje u fotbalistů kategorie U14 i U16.

H6: Reaktivní síla dolních končetin se v průběhu tří sledovaných let zvyšuje u fotbalistů kategorie U14 i U16.

Kritéria pro potvrzení hypotéz:

H1: Hypotéza bude potvrzena, pokud bude zjištěn signifikantní pokles absolutní i relativní tuhosti dolních končetin v důsledku soutěžního utkání u fotbalistů kategorie U14 i U16.

H2: Hypotéza bude potvrzena, pokud bude zjištěn signifikantní pokles reaktivní síly dolních končetin v důsledku soutěžního utkání u fotbalistů kategorie U14 i U16.

H3: Hypotéza bude potvrzena, pokud bude zjištěn signifikantní pokles absolutní i relativní tuhosti dolních končetin v průběhu soutěžního období u fotbalistů kategorie U14 i U16.

H4: Hypotéza bude potvrzena, pokud bude zjištěn signifikantní pokles reaktivní síly dolních končetin v průběhu soutěžního období u fotbalistů kategorie U14 i U16.

H5: Hypotéza bude potvrzena, pokud bude zjištěn signifikantní nárůst absolutní i relativní tuhosti dolních končetin u fotbalistů kategorie U14 i U16.

H6: Hypotéza bude potvrzena, pokud bude zjištěn signifikantní nárůst reaktivní síly dolních končetin u fotbalistů kategorie U14 i U16.

4 METODIKA

Tato studie byla zrealizována v rámci tříletého výzkumného projektu GAČR (číslo 16-13750S), který byl schválen v souladu s Helsinskou deklarací (1983) Etickou komisí Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci (Příloha 1). Před zahájením výzkumu byli všichni hráči seznámeni s cílem a metodikou studie, souhlasili s účastí na výzkumu a s použitím získaných dat pro výzkumné účely (Příloha 2). Vzhledem k nezletilosti hráčů, informovaný souhlas podepsal jejich zákonný zástupce. Z důvodu dokonalého zvládnutí motorických testů před prvním testováním byl jejich pohybový obsah týden před prvním testováním začleněn do rozcvičení v rámci tréninkových jednotek.

Ve výzkumném projektu GAČR (číslo 16-13750S) byl výzkum realizován v rámci dvou dílčích modulů:

- a) část zaměřená na hodnocení krátkodobých změn neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu, svalových, biochemických, kinematických změn kolenního kloubu a subjektivního hodnocení vnímané svalové bolesti
- b) část zaměřená na hodnocení dlouhodobých změn neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu, svalových, biochemických, kinematických změn kolenního kloubu a subjektivního hodnocení vnímané svalové bolesti

Disertační práce obsahuje tři dílčí studie, z nichž první studie byla realizována v rámci prvního modulu projektu GAČR a druhá a třetí v rámci druhého modulu projektu GAČR. Pro účely disertační práce byly využity pouze vybrané hodnotící parametry neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu absolutní a relativní tuhost dolních končetin a reaktivní silový index.

4.1 Výzkumný soubor

Výzkumu se zúčastnili hráči z elitního klubu SK Sigma Olomouc, hrající nejvyšší soutěž v České republice ve své kategorii a kteří neprodělali v posledních šesti měsících vážné zranění stehna nebo kolenního kloubu, které by je vyřadilo z tréninkového procesu na více jak 3 týdny. Hráči byli osloveni prostřednictvím klubových trenérů. Zařazení hráči byli ze soutěžních kategorií U14 a U16 z fotbalové akademie, kteří trénují průměrně 5x týdně a jednou týdně mají soutěžní utkání.

Každému hráči byl přiřazen kód, pod kterým byl veden po celou dobu testování. Hráči byli vždy testováni ve svém tréninkovém prostředí ve sportovní hale. Hráči kategorie U14 se systematickému fotbalovému tréninku věnují většinou po dobu 7 let, hráči U16 většinou 9 let.

V první studii věnující se změnám neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu po utkání byly základní somatické charakteristiky hráčů kategorie U14: věk = $13,4 \pm 0,4$ let, tělesná výška = $163,0 \pm 10,5$ cm, tělesná hmotnost = $53,5 \pm 12,3$ kg a u hráčů kategorie U16: věk = $15,7 \pm 0,2$ let, tělesná výška = $178,3 \pm 2,1$ cm, tělesná hmotnost = $67,9 \pm 5,7$ kg. Základní somatické charakteristiky pro obě dlouhodobé studie hráčů do 14 let jsou uvedeny v Tabulkách 1 a 3, hráčů do 16 let v Tabulkách 2 a 4. Na Obrázku 9 je znázorněna organizace všech tří dílčích výzkumných studií s participací hráčů kategorie U14 a na Obrázku 10 s participací hráčů kategorie U16. Tréninkové a soutěžní zatížení obou skupin během dlouhodobých studií je uvedeno v Tabulkách 5 a 6.

Tabulka 1. Základní charakteristiky kategorie U14 během soutěžního období (n = 18; průměr a směrodatná odchylka)

	Začátek SO	Polovina SO	Konec SO
Věk (roky)	$13,3 \pm 0,3$	$13,6 \pm 0,3$	$14,1 \pm 0,3$
Posun od PHV (roky)	$0,1 \pm 0,7$	$0,2 \pm 0,7$	$0,4 \pm 0,6$
Tělesná hmotnost (kg)	$50,2 \pm 9,9$	$53,2 \pm 10,4$	$56,5 \pm 10,3$
Tělesná výška (cm)	$163,3 \pm 8,4$	$164,9 \pm 8,5$	$167,6 \pm 9,2$
Délka DKK (cm)	$74,2 \pm 6,6$	$75,9 \pm 6,3$	$80,6 \pm 6,6$

Vysvětlivky: PHV – vrchol růstového spurtu, DKK – dolní končetiny, SO – soutěžní období.

Tabulka 2. Základní charakteristiky kategorie U16 během soutěžního období (n = 15; průměr a směrodatná odchylka)

	Začátek SO	Polovina SO	Konec SO
Věk (roky)	$15,2 \pm 0,6$	$15,5 \pm 0,6$	$15,9 \pm 0,7$
Posun od PHV (roky)	$1,5 \pm 0,8$	$1,8 \pm 0,8$	$2,2 \pm 0,8$
Tělesná hmotnost (kg)	$64,3 \pm 8,1$	$65,1 \pm 6,4$	$67,2 \pm 16,6$
Tělesná výška (cm)	$176,1 \pm 5,7$	$177,3 \pm 4,8$	$178,2 \pm 5,9$
Délka DKK (cm)	$85,4 \pm 3,0$	$85,6 \pm 3,5$	$86,2 \pm 2,8$

Vysvětlivky: PHV – vrchol růstového spurtu, DKK – dolní končetiny, SO – soutěžní období.

Tabulka 3. Základní charakteristiky kategorie U14 během tří sledovaných let (n = 14; průměr a směrodatná odchylka)

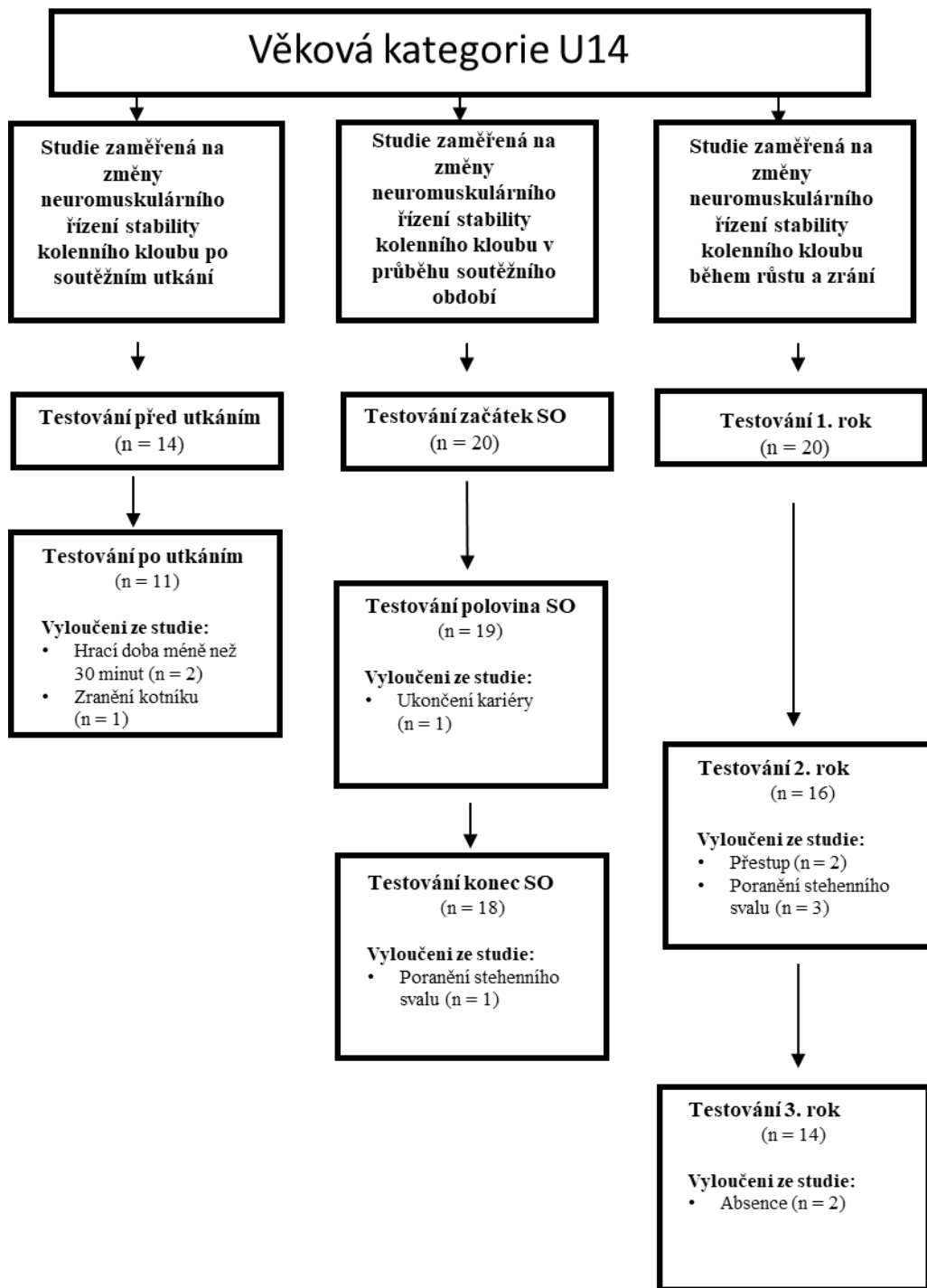
	1. rok	2. rok	3. rok
Věk (roky)	13,3 ± 0,3	14,3 ± 0,3	15,3 ± 0,3
Posun od PHV (roky)	0,1 ± 0,7	0,5 ± 0,6	1,4 ± 0,5
Tělesná hmotnost (kg)	50,2 ± 9,9	58,8 ± 10,6	66,6 ± 10,6
Tělesná výška (cm)	163,3 ± 8,4	169,5 ± 10,2	174,4 ± 7,7
Délka DKK (cm)	74,2 ± 6,6	82,5 ± 6,0	84,6 ± 5,7

Vysvětlivky: PHV – vrchol růstového spurtu, DKK – dolní končetiny.

Tabulka 4. Základní charakteristiky kategorie U16 během tří sledovaných let (n = 11; průměr a směrodatná odchylka)

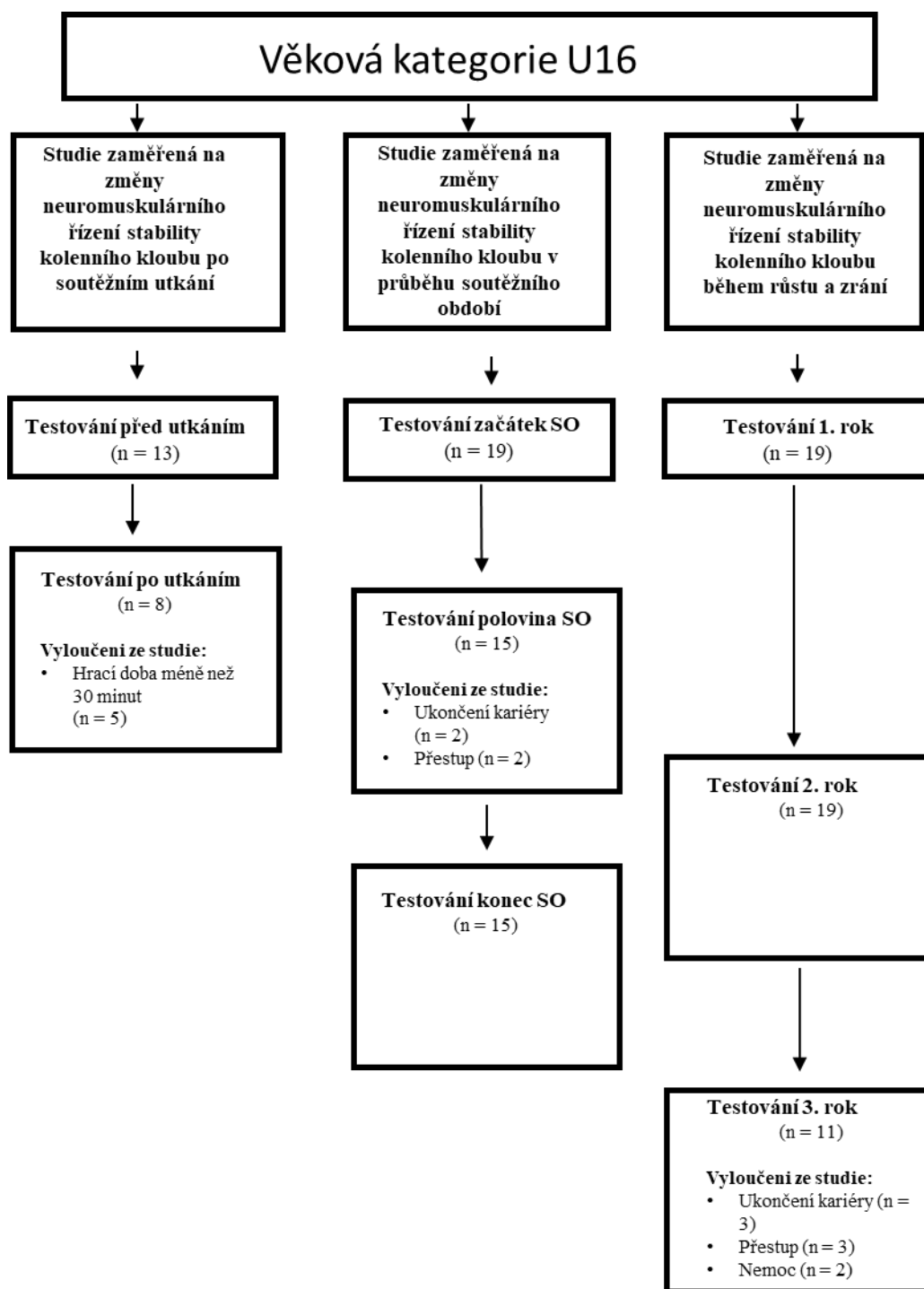
	1. rok	2. rok	3. rok
Věk (roky)	15,2 ± 0,6	16,2 ± 0,6	17,0 ± 0,7
Posun od PHV (roky)	1,5 ± 0,8	2,5 ± 0,7	3,1 ± 1,0
Tělesná hmotnost (kg)	64,3 ± 8,1	71,2 ± 9,3	74,4 ± 5,9
Tělesná výška (cm)	176,1 ± 5,7	179,8 ± 4,8	180,6 ± 4,5
Délka DKK (cm)	85,4 ± 3,0	87,5 ± 2,8	87,9 ± 2,9

Vysvětlivky: PHV – vrchol růstového spurtu, DKK – dolní končetiny.



Obrázek 9. Schématický diagram výzkumných testování a participace hráčů věkové kategorie U14.

Vysvětlivky: SO – soutěžní období, n – počet.



Obrázek 10. Schématický diagram výzkumných testování a participace hráčů věkové kategorie U16.

Vysvětlivky: SO – soutěžní období, n – počet.

Tabulka 5. Tréninkové a soutěžní zatížení sledovaných skupin hráčů v průběhu ročního tréninkového cyklu

	U14			U16		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Počet týdnů v daném období	7	9	30	9	10	29
Počet dnů zatížení/týden	4,86	5,89	5,00	5,78	6,00	5,00
Počet tréninkových jednotek /týden	6,02	6,00	5,98	5,11	5,50	5,00
Celkový počet hod. zatížení /týden	9,02	9,13	9,13	8,33	8,30	7,64
Počet utkání/týden	1,09	1,09	1,09	2,00	1,20	1,15
Taktická příprava – teorie v hod./týden	0,53	0,52	0,51	1,06	1,05	0,92
Aktivní zotavování hod./týden	0,60	0,61	0,62	0,54	0,50	0,13
Regenerace pasivní hod./týden	0,80	0,80	0,79	1,56	1,50	1,19
Regenerace hod./týden	1,40	1,41	1,41	2,10	2,00	1,31

Vysvětlivky: M1 – doba 7–9 týdnů před 1. testováním, M2 – doba mezi 1. a 2. testováním, M3 – doba mezi 2. a 3. testováním, hod. – hodin.

Tabulka 6. Tréninkové a soutěžní zatížení sledovaných skupin hráčů kategorie v průběhu tří let

	U14			U16		
	M1	M4	M7	M1	M4	M7
Počet týdnů v daném období	7	52	15	9	51	47
Počet dnů zatížení/týden	4,86	4,73	5,17	5,78	4,97	5,41
Počet tréninkových jednotek /týden	5,42	4,68	5,16	5,11	5,00	5,53
Celkový počet hod. zatížení /týden	8,12	7,35	8,28	8,33	7,85	8,85
Počet utkání/týden	0,98	1,01	1,01	2,00	1,17	1,10
Taktická příprava – teorie v hod./týden	0,48	0,44	0,58	1,06	0,88	0,72
Aktivní zotavování hod./týden	0,54	0,52	0,62	0,54	0,38	0,60
Regenerace pasivní hod./týden	0,77	0,67	0,81	1,56	1,02	0,91
Regenerace hod./týden	1,31	1,18	1,43	2,10	1,39	1,51

Vysvětlivky: M1 – doba 7 týdnů před 1. testováním, M4 – doba mezi 1. a 4. testováním, M7 – doba mezi 4. a 7. testováním, hod. – hodiny.

4.2 Design studií

Design studie změn neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu po soutěžního utkání

Jednalo se o observační průřezovou studii, která hodnotila zvláště věkovou kategorii U14 a U16. Testování proběhlo 10 týdnů po začátku RTC (listopad). Den před testováním bylo doporučeno trenérům, aby hráči neabsolvovali trénink s vysokým zatížením. Všechny testy byly realizovány v randomizovaném pořadí 1 hod. před a okamžitě po soutěžním utkání

(doba utkání byla 70 min. pro U14 a 80 min. pro hráče U16) zkušenými výzkumníky. Průměrná doba hráče v utkání byla 59 ± 13 min. u kategorie U14 a 75 ± 9 min. u kategorie U16.

Design studie změn neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu v průběhu soutěžního období

V této studii s akcelerovaným longitudinálním designem (Sigmundová & Sigmund, 2015) byli testováni mladí fotbalisté kategorií U14 a U16 3x během soutěžního období. Den před testováním bylo doporučeno trenérům, aby hráči neabsolvovali trénink s vysokým zatížením. První testování proběhlo 2 až 3 utkání po zahájení RTC. Druhé testování po skončení podzimní části soutěžního období. Třetí testování na konci soutěžního období, po posledním utkání. Hráči měli soutěžní utkání v sobotu ev. v neděli, v případě kategorie U14 měli hráči v několika mikrocyclech soutěžní utkání rovněž ve středu (tj. dvě utkání za týden). Všechny testy byly provedeny nejdříve třetí den po soutěžním utkání.

Design studie změn neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu během růstu a zrání

Této akcelerované longitudinální studie (Sigmundová & Sigmund, 2015) se zúčastnili mladí fotbalisté kategorií U14 a U16. Testování proběhlo tři po sobě jdoucí roky vždy na začátku soutěžního období (září). Den před testováním bylo doporučeno trenérům, aby hráči neabsolvovali trénink s vysokým zatížením. Jednalo se o testování v randomizovaném pořadí a vždy nejdříve třetí den po soutěžním utkání.

4.3 Metodika sběru dat

Tělesná výška byla měřena ve stoje a v sedu pomocí A-226 Anthropometer (Trystom, CR). Tělesná hmotnost byla měřena pomocí Tanita UM-075 váhy (Tanita, Japan). Pomocí výpočtu dle Mirwald et al. (2002) byla odhadnuta aktuální úroveň biologického zrání. Neuromuskulární řízení stability kolenního kloubu bylo posuzováno následujícími parametry: absolutní tuhost dolních končetin (ALS), relativní tuhost dolních končetin (RLS) a reaktivní silový index (RSI). ALS a RLS byly zaznamenávány na silové plošině PS-2142 (Pasco, Roseville, USA), RSI bylo zaznamenáváno pomocí výskokového ergometru FITRO Jumper (Fitronic, Bratislava, Slovensko). Pro detekci vnímané svalové bolesti byla využita VAS škála (Halsón, 2014; Příloha 3).

Postup testování

Na začátku každého testování (kromě testování před utkáním v 1. studii) se fotbalisté společně rozcvičili 20 min.. Jednalo se o typické rozcvičení před tréninkem či utkáním dle klubových zvyklostí, které se skládalo především z běhu (vpřed, vzad, stranou) a dynamického strečinku (kyvadlové pohyby, ná kroky, výpady do různých stran, výskoky, dřepy atd.) v celkové délce 15 min. Na závěr rozcvičení byl zařazen pohybový obsah motorických testů.

Použité metody testování

Pro účely disertační práce byly použity dva motorické testy, první test opakovaných submaximálních vertikálních skoků a druhý test 5 maximálních vertikálních skoků z místa.

Test opakovaných submaximálních vertikálních skoků z místa

Test opakovaných submaximálních vertikálních skoků z místa slouží k stanovení tuhosti dolních končetin, a to jak absolutní, tak relativní (Lloyd, et al., 2009).

Fotbalista byl vyzván k zaujetí stoje na silové plošině PS-2142 (Pasco, Roseville, USA) na šířku chodidel s rukama v bok tak, aby byla tělesná hmotnost rozložena rovnoměrně na obě DK (Příloha 4). Poté byl hráč vyzván k zahájení 20 opakovaných skoků s cílem udržet frekvenci 2,5 Hz, s minimální flexí kolen. Frekvence 2,5 Hz byla udržována pomocí mechanického metronomu Wittner (GmbH & Co. KG, Isny, Germany). To umožnilo reflektovat typické chování pružinového modelu (Lloyd et al., 2009). Test probíhal ve sportovní obuvi. Pokus byl proveden 3x a k dalšímu statistickému zpracování byl použit průměr ze všech tří pokusů. Fotbalisti byli ve skupinách po třech, přičemž celá skupina nejprve provedla první pokus, poté druhý, nakonec třetí. Tento postup zajistil adekvátní odpočinek 2 min. mezi jednotlivými pokusy.

Tuhost dolních končetin ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$) byla vypočtena z parametrů tělesná hmotnost (kg), doba letu (ms) a doba kontaktu (ms), které jsme získali jako průměr z 6 až 15 skoku testu opakovaných submaximálních vertikálních skoků z místa, což je považováno za validní a reliabilní metodu pro děti a dorostence (ICC = 0,93; Dalleau et al., 2004; Lloyd et al., 2009). Tyto údaje byly získány z průběhu reakční síly podložky měřené silovou plošinou Pasco pomocí softwaru Jump Analyzer, který byl k tomuto účelu námi vytvořen.

Absolutní tuhost dolních končetin byla vypočtena podle následujícího vzorce (Dalleau et al., 2004):

$$K_N = \frac{[M * \pi(T_f + T_c)]}{T_c^2 * \left[\left(T_f + \frac{T_c}{\pi}\right) - \left(\frac{T_c}{4}\right)\right]}$$

Vysvětlivky: M – tělesná hmotnost, T_c – doba kontaktu (ms), T_f – doba letu (ms), π – matematická konstanta

Pod pojmem relativní tuhost dolních končetin se rozumí absolutní tuhost dolních končetin normalizovaná tíhovou silou odpovídající tělesné hmotnosti hráče a délkou dolní končetiny, která byla měřena jako rozdíl mezi výškou ve stoje a sedu.

Test 5 maximálních vertikálních skoků z místa

Test 5 maximálních vertikálních skoků z místa slouží k určení RSI (Laffaye et al., 2016).

Fotbalista byl vyzván k zaujetí stoje na výskokovém ergometru FITRO Jumper (Fitronic, Slovensko) na šířku chodidel s rukama volně podél těla tak, aby byla jeho tělesná hmotnost rozložena rovnoměrně na obě dolní končetiny (Příloha 5). Plošina byla pevně uchycena k zemi pro zaručení bezpečnosti fotbalistů. Poté na pokyn „*připrav se*“ a následně „*hop*“ provedl 6 maximálních výskoků se svihem paží se snahou minimalizovat dobu kontaktu a flexi kolen při odrazu. Po posledním doskoku hráč zůstal vzpřímeně stát na kontaktní plošině. Byly provedeny tři pokusy s intervalem odpočinku 2 min. mezi pokusy. Test proběhl ve sportovní obuvi.

RSI byl vypočten jako poměr výšky skoku (h, m) a doby kontaktu (T_c, s). Výška skoku byla vypočítána z následujícího vzorce (Flanagan & Comyns, 2008):

$$h = (g * T_f^2) / 8$$

Vysvětlivky: g – tíhové zrychlení (9,81 m.s⁻¹), T_f – doba letu (s)

Z šesti provedených skoků nebyl první započítáván. Z následujících pěti měřených skoků byl v každém pokusu vypočítán aritmetický průměr. Výsledkem testu byl průměr ze všech měřených pokusů. Test vykazuje vysokou spolehlivost a platnost u mladých jedinců (ICC = 0,90; Lloyd et al., 2009).

Vnímaná svalová bolest

Velikost vnímané svalové bolesti byla zaznamenávána pomocí VAS, která nepřímo ukazuje na intenzitu zatížení v utkání (Lee, Hicks, & Nino-Murcia, 1989, Příloha 3). Jedná se o jeden z nejčastějších nástrojů používaných pro monitorování vnímané bolesti, únavy a zotavení u sportovců který je jednoduchý a srozumitelný (Halson, 2014). Tato metoda se využívá také u dětské populace (Moutte, Brudvik, & Morken, 2015). Pro záznam se využívá úsečka, jejíž konce jsou označeny číslicemi 0 a 10. Nulou se označuje žádná bolest na levé straně úsečky a desítkou nesnesitelné bolesti označená na pravé straně úsečky. Sportovec vyznačuje na přímku intenzitu míry bolesti, kterou cítí (Křivohlavý, 1992). Tuto škálu vyplňovali po slovním vysvětlení hráči před každým testováním.

Monitorování tréninkového a soutěžního zatížení

Tréninkové zatížení bylo monitorováno pomocí záznamu tréninkového a soutěžního zatížení, který byl vytvořen specificky pro tento výzkum a byl vyplňován trenéry v průběhu dlouhodobého sledování. Přehled hlavních sledovaných charakteristik zatížení je uveden v Tabulkách 5 a 6.

4.3.1 Statistická analýza dat

Naměřená data byla statisticky zpracována pomocí programu Statistica, verze 12 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA). Nejprve pomocí testu Kolmogorov-Smirnov byla potvrzena normalita rozložení dat. U všech sledovaných parametrů byla provedena základní popisná statistika (aritmetický průměr a směrodatná odchylka).

U studie změn neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu po soutěžním utkání byly použity párové t-testy k analýze všech proměnných pro stanovení akutních účinků soutěžního utkání. Pro hodnocení věcné významnosti byl použit koeficient Cohenovo d (Cohen, 1988). Vypočítané velikosti účinku byly klasifikovány jako malý ($0,00 < d < 0,49$), střední ($0,50 < d < 0,79$) a velký ($d > 0,80$) efekt (Cohen, 1988). Pro posouzení statistické významnosti rozdílů byla zvolena hladina významnosti na úrovni $p = 0,05$.

U studií sledujících změny během soutěžního období a během růstu a zrání byla k určení efektu času pro parametry LS, RLS, RSI použita jednofaktorová ANOVA pro opakovaná měření. Post hoc Tukey test byl použit k posouzení signifikantních rozdílů mezi jednotlivými testováními. U těchto studií byla velikost účinku posouzena pomocí

koeficientu eta squared (η^2 ; malý efekt $\eta^2 < 0,01$, střední efekt $0,059 < \eta^2 < 0,138$, velký efekt $0,138 < \eta^2$). Pro posouzení statistické významnosti byla zvolena hladina významnosti $p = 0,05$.

5 VÝSLEDKY

Výsledky ALS, RLS a RSI z testování kategorií U14 a U16 první studie jsou uvedeny v Tabulkách 7 až 10, druhé studie v Tabulkách 11 až 13 a třetí studie v Tabulkách 14 až 16.

5.1 Studie zaměřená na změny neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu po soutěžním utkání

Absolutní tuhost dolních končetin

Výsledky párového t-testu neukázaly na statisticky signifikantní rozdíly v absolutní tuhosti dolních končetin před a po soutěžním utkání ani v jedné kategorii. Index velikosti účinku ukazuje na malý efekt u kategorie U16 (Tabulka 7).

Tabulka 7. Absolutní tuhost dolních končetin před a po utkání (průměr a směrodatná odchylka)

Kategorie	Před utkáním	Po utkání	<i>p</i>	<i>d</i>
U14	23,97 ± 6,2	23,66 ± 5,2	0,48	0,05
U16	29,16 ± 4,5	30,08 ± 4,8	0,47	0,20

Vysvětlivky: *p* – hladina statistické významnosti, *d* – Cohenovo *d*, U14 – věková kategorie do 14 let, U16 – věková kategorie do 16 let.

Relativní tuhost dolních končetin

Výsledky párového t-testu neukázaly na statisticky významné změny relativní tuhosti dolních končetin po soutěžním utkání. Index velikosti účinku ukazuje na malý efekt u kategorie U16 (Tabulka 8).

Tabulka 8. Relativní tuhost dolních končetin před a po utkání (průměr a směrodatná odchylka)

Kategorie	Před utkáním	Po utkání	<i>p</i>	<i>d</i>
U14	36,37 ± 6,8	35,39 ± 5,3	0,48	0,16
U16	39,52 ± 5,3	40,51 ± 3,6	0,53	0,22

Vysvětlivky: *p* – hladina statistické významnosti, *d* – Cohenovo *d*, U14 – věková kategorie do 14 let, U16 – věková kategorie do 16 let.

Reaktivní silový index

Statisticky signifikantní rozdíly mezi hodnotami RSI před a po soutěžním utkání byly prokázány u obou kategorií. Index velikosti účinku ukazuje na malý efekt u kategorie U14 a na velký efekt u kategorie U16 (Tabulka 9).

Tabulka 9. Reaktivní silový index před a po utkání (průměr a směrodatná odchylka)

Kategorie	Před utkáním	Po utkání	<i>p</i>	<i>d</i>
U14	1,38 ± 0,3	1,27 ± 0,2	0,04*	0,41
U16	1,76 ± 0,3	1,50 ± 0,2	<0,01*	1,31

Vysvětlivky: *p* – hladina statistické významnosti (*statisticky významné hodnoty *p* <0,05), *d* – Cohenovo *d*, U14 – věková kategorie do 14 let, U16 – věková kategorie do 16 let.

Vizuální analogová škála

Statisticky signifikantní rozdíly mezi hodnotami před a po soutěžním utkání byly prokázány u subjektivního vnímání svalové bolesti DKK u obou kategorií (Tabulka 10).

Tabulka 10. Hodnoty vizuální analogové škály před a po utkání (průměr a směrodatná odchylka)

Kategorie	Před utkáním	Po utkání	<i>p</i>	<i>d</i>
U14	1,31 ± 1,4	3,3 ± 2,3	<0,01*	1,04
U16	0,95 ± 0,7	6,5 ± 1,3	<0,001*	5,17

Vysvětlivky: *p* – hladina statistické významnosti (*statisticky významné hodnoty *p* <0,05), *d* – Cohenovo *d*, U14 – věková kategorie do 14 let, U16 – věková kategorie do 16 let.

5.2 Studie zaměřená na změny neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu v průběhu soutěžního období

Absolutní tuhost dolních končetin

ANOVA pro opakovaná měření prokázala signifikantní efekt času na ALS u kategorie U14 a nesignifikantní efekt času u kategorie U16 (Tabulka 11). U kategorie U14 post hoc test prokázal signifikantně vyšší hodnoty ALS na konci soutěžního období oproti začátku soutěžního období ($p = 0,02$).

Tabulka 11. Absolutní tuhost dolních končetin během soutěžního období u fotbalistů kategorie U14 a U16 (průměr a směrodatná odchylka)

Kategorie	Soutěžní období			F	p	η^2
	Začátek	Polovina	Konec			
U14	22,57 ± 5,1	22,42 ± 5,3	26,67 ± 6,5	4,86	0,02*	0,31
U16	29,08 ± 6,0	29,35 ± 4,2	24,98 ± 2,8	2,15	0,16	0,26

Vysvětlivky: p – hladina statistické významnosti (*statisticky významné hodnoty $p < 0,05$), η^2 – koeficient eta squared, U14 – věková kategorie do 14 let, U16 – věková kategorie do 16 let.

Relativní tuhost dolních končetin

ANOVA pro opakovaná měření ukázala signifikantní efekt času na RLS u kategorie U14 i u kategorie U16 během sledování SO (Tabulka 12). U kategorie U14 post hoc test prokázal signifikantně nižší hodnoty na začátku SO oproti polovině SO ($p = 0,02$) a oproti konci SO ($p < 0,001$). Post hoc test u kategorie U16 prokázal signifikantně nižší hodnoty na konci SO oproti začátku SO ($p = 0,04$).

Tabulka 12. Relativní tuhost dolních končetin během soutěžního období u fotbalistů kategorie U14 a U16 (průměr a směrodatná odchylka)

Kategorie	Soutěžní období			F	p	η^2
	Začátek	Polovina	Konec			
U14	31,39 ± 5,6	34,52 ± 6,7	38,59 ± 5,6	13,4	<0,001*	0,54
U16	39,28 ± 7,5	38,31 ± 5,9	33,83 ± 3,5	4,11	0,04*	0,41

Vysvětlivky: p – hladina statistické významnosti (*statisticky významné hodnoty $p < 0,05$), η^2 – koeficient eta squared, U14 – věková kategorie do 14 let, U16 – věková kategorie do 16 let.

Reaktivní silový index

ANOVA pro opakovaná měření neprokázala signifikantní efekt času na RSI u kategorie U14. Signifikantní efekt času byl prokázán u kategorie U16 během soutěžního období (Tabulka 13). U kategorie U14 post hoc test neprokázal signifikantní změny, zatímco u kategorie U16 byly hodnoty na konci SO signifikantně vyšší oproti polovině SO ($p = 0,02$).

Tabulka 13. Reaktivní silový index během soutěžního období u fotbalistů kategorie U14 a U16 (průměr a směrodatná odchylka)

Kategorie	Soutěžní období			F	p	η^2
	Začátek	Polovina	Konec			
U14	1,32 ± 0,3	1,44 ± 0,2	1,34 ± 0,3	2,98	0,06	0,15
U16	1,76 ± 0,3	1,68 ± 0,3	1,92 ± 0,3	4,92	0,02*	0,31

Vysvětlivky: p – hladina statistické významnosti (*statisticky významné hodnoty $p < 0,05$), η^2 – koeficient eta squared, U14 – věková kategorie do 14 let, U16 – věková kategorie do 16 let.

5.3 Studie zaměřená na změny neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu během růstu a zrání

Absolutní tuhost dolních končetin

Výsledky ANOVY pro opakovaná měření potvrdily signifikantní efekt času na ALS pouze u kategorie U14 (Tabulka 14). U kategorie U14 post hoc test prokázal signifikantně vyšší hodnoty ALS ve druhém roce testování oproti 1. roku ($p = 0,01$) a signifikantně vyšší hodnoty ALS ve 3. roce oproti 1. roku ($p < 0,001$). U kategorie U16 nebyly potvrzeny žádné signifikantní rozdíly mezi hodnotami v 1. roce a hodnotami ve 2. nebo 3. roce testování.

Tabulka 14. Absolutní tuhost dolních končetin během růstu a zrání u fotbalistů kategorie U14 a U16 (průměr a směrodatná odchylka)

Kategorie	1. Rok	2. Rok	3. Rok	F	p	η^2
U14	22,57 ± 5,1	24,76 ± 6,2	28,13 ± 5,1	13,25	<0,001*	0,57
U16	29,08 ± 6,0	28,66 ± 4,3	29,96 ± 5,0	0,29	0,75	0,03

Vysvětlivky: p – hladina statistické významnosti (*statisticky významné hodnoty $p < 0,05$), η^2 – koeficient eta squared, U14 – věková kategorie do 14 let, U16 – věková kategorie do 16 let.

Relativní tuhost dolních končetin

ANOVA pro opakovaná měření ukázala signifikantní efekt času na RLS u kategorie U14 a nesignifikantní efekt času u kategorie U16 (Tabulka 15). U kategorie U14 post hoc test prokázal signifikantně vyšší hodnoty RLS ve 2. roce oproti 1. roku testování ($p < 0,05$) a signifikantně vyšší hodnoty RLS ve 3. roce oproti 1. roku testování ($p < 0,05$).

Tabulka 15. Relativní tuhost dolních končetin během růstu a zrání u fotbalistů kategorie U14 a U16 (průměr a směrodatná odchylka)

Kategorie	1. Rok	2. Rok	3. Rok	F	p	η^2
U14	31,39 ± 5,6	35,27 ± 6,2	36,38 ± 4,2	9,22	<0,01*	0,48
U16	39,28 ± 7,5	35,00 ± 4,2	35,91 ± 5,6	2,79	0,09	0,22

Vysvětlivky: p – hladina statistické významnosti (*statisticky významné hodnoty $p < 0,05$), η^2 – koeficient eta squared, U14 – věková kategorie do 14 let, U16 – věková kategorie do 16 let.

Reaktivní silový index

ANOVA pro opakovaná měření ukázala signifikantní efekt času na RSI u kategorie U14 i u kategorie U16 (Tabulka 16). U kategorie U14 post hoc test prokázal signifikantně vyšší hodnoty RSI ve 2. roce oproti 1. roku testování ($p < 0,001$), signifikantně vyšší hodnoty ve 3. roce oproti 1. roku testování ($p < 0,001$) i oproti hodnotám ve 2. roce testování ($p < 0,01$). Post hoc test u kategorie U16 neprokázal signifikantní rozdíly mezi jednotlivými roky.

Tabulka 16. Reaktivní silový index během růstu a zrání u fotbalistů kategorie U14 a U16 (průměr a směrodatná odchylka)

Kategorie	1. Rok	2. Rok	3. Rok	F	p	η^2
U14	1,32 ± 0,3	1,53 ± 0,3	1,73 ± 0,3	33,28	<0,001*	0,75
U16	1,76 ± 0,3	1,89 ± 0,2	1,96 ± 0,3	1,70	0,01*	0,18

Vysvětlivky: p – hladina statistické významnosti (*statisticky významné hodnoty $p < 0,05$), η^2 – koeficient eta squared, U14 – věková kategorie do 14 let, U16 – věková kategorie do 16 let.

6 DISKUSE

Ve světové literatuře se objevuje stále více studií, které potvrzují vysoký výskyt nekontaktního poranění kolenního kloubu, nicméně je stále i nedostatek studií, které by se věnovaly neuromuskulárním faktorům, které ovlivňují řízení kolenního kloubu a navíc jsou modifikovatelné (DeAngelis et al., 2015). Neuromuskulární řízení kolenního kloubu je možné hodnotit pomocí LS nebo RSI. LS hraje klíčovou roli v dynamické stabilitě kolenního kloubu, protože reprezentuje odpor biostruktur k zatížení během pohybu (Needle et al., 2014), a je proto považován za jeden z indikátorů hodnocení rizika zranění (Hughes & Watkins, 2006). LS může pomoci pochopit mechanismy poranění kolenního kloubu, protože interpretují stav kloubního odporu. Nadměrné sportovní zatížení může poškodit vazivově-kloubní struktury, které zajišťují pasivní stabilitu kloubu. Na stabilitě se také podílí dynamická složka tvořená m. quadriceps a hamstringy. Tato stabilita může být narušena nečekanou událostí, která může přerušit dopředné mechanismy a neuromuskulární kontrolu nutnou k optimálnímu časoprostorovému fungování. Za nečekanou událost je považován dopad nebo rychlá změna směru pohybu (DeAngelis et al. 2015). Za další možný ukazatel stavu neuromuskulárního řízení je považován RSI, který hodnotí reaktivní sílu, což je schopnost vytvořit co největší silový impulz v SSC (Lehnert, Novosad, Neuls, Langer, & Botek, 2012). RSI je reliabilním nástrojem k hodnocení potenciálního rizika zranění (Raschner et al., 2012) také proto, že monitoruje napětí přenášené na šlachy během plyometrického cvičení (Flanagan et al., 2007).

Výzkum v rámci disertační práce byl zaměřen na sledování krátkodobých i dlouhodobých změn neuromuskulárního řízení kolenního kloubu jako indikátoru rizika zranění a je prezentován v rámci třech dílčích studiích. První se zaměřila na změny po soutěžním utkání, druhá během soutěžního období a třetí během růstu a zrání u dvou skupin mladých profesionálních fotbalistů hrajících 7 let v případě kategorie U14 a 9 let v případě kategorie U16. V souladu s tímto rozdělením je rovněž diskuse členěna na tři části.

6.1 Studie změn neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu po soutěžním utkání

Kategorie U14

Zjištění ukazují, že u kategorie U14 soutěžní fotbalové utkání signifikantně snižuje RSI z $1,38 \pm 0,3$ před utkáním na $1,27 \pm 0,2$ po něm ($p = 0,04$). Hodnota indexu velikosti účinku ukazuje na malý efekt utkání na RSI ($d = 0,41$). Významné změny byly zjištěny v případě subjektivního hodnocení svalové bolesti pomocí VAS ($p < 0,01$; před utkáním: $1,2 \pm 1,4$; po utkání: $2,7 \pm 2,3$). U ALS ani RLS významné změny nebyly potvrzeny.

Pokles hodnot RSI naznačuje, že ke konci soutěžního utkání schopnost mladých hráčů efektivně využívat neuromuskulární mechanismy řízení pohybu kloubů, ke snížení zatížení vazů, je zhoršena a tento fakt zase může zvýšit riziko následného zranění. Přesné mechanismy související se snížením RSI na konci utkání je obtížné popsat. Výsledky však naznačují sníženou toleranci k excentrickému zatížení šlachově-svalového aparátu. (Comyns et al., 2011). Konkrétně může docházet ke snížení přispění napínacího reflexu, rychlosti rozvoje síly a poklesu desenzibilizace Golgiho šlachových tělísek (Ratel & Martin, 2015). Pokles RSI může vést k nárůstu rizika poranění při dopadu nebo dalších manévrech kvůli negativnímu efektu na pružinový model tuhosti dolní končetiny a práci svalu (Comyns et al., 2011). Pokles by mohl být zapříčiněn posunem nervové kontroly směrem k nižšímu přispění dopředných mechanismů a krátkou latencí napínacího reflexu (Lehnert et al., 2019). Tato změna může vést k větší „poddajnosti“ svalové akce s nárůstem změny těžiště během doby kontaktu a tím následně k relativnímu nárůstu rizika poranění zvláště při dopadu.

Změny RSI mohou být ovlivněny způsobem metabolismu jedince. Mladí jedinci mají odlišný metabolismus oproti starším, což autoři Fawcner a Armstrong (2007) vysvětlují rychlejší absorpcí kyslíku mladých jedinců a tím většího využívání aerobního metabolismu. Jsou odolnější proti únavě kvůli tomu, že rychleji využívají transport kyslíku, čímž nedochází k tak velké kumulaci únavy. Mladší jedinci mají menší schopnost aktivovat svalová vlákna typu II a také pravděpodobně rychleji resyntetizují kreatinfosfát (De Ste Croix, 2007).

Naše zjištění jsou v souladu s předchozími studiemi, ve které byl prokázán pokles RSI po simulovaném fotbalovém utkání hráčů U15 (Lehnert et al., 2017). Pokles RSI testovaného pomocí skoku po seskoku z vyvýšeného místa po fotbalovém utkání zaznamenala studie Hamilton (2009). U dospělých fotbalistů vliv zatížení v soutěžním utkání prokázán nebyl

(Thorpe et al., 2015; Varley, Lewin, Needham, Thorpe, & Burbeary, 2017). Neuromuskulární řízení zde bylo testováno pomocí vertikálního skoku z místa měřením jeho výšky, což se ukazuje jako nedostatečně citlivý parametr k zaznamenání změn akutní únavy. Dalším limitujícím faktorem je zde technika provedení samotného skoku, která vlivem únavy může být odlišná (větší podřep před výskokem, větší zapojení horních končetin, pokrčení kolenních kloubů k dosažení delší doby letu; Varley et al., 2017).

Je zajímavé, že u RSI byl na rozdíl od LS nalezen signifikantní pokles, i když oba parametry hodnotí SSC. Nicméně jedna předchozí studie (Lloyd et al., 2011) uvádí, že RSI a LS vykazují omezené množství společné variability. Naše výsledky jsou podpořeny některými předchozími studiemi u mladých sportovců, které uvádí, že akutní změny v LS jsou individuální (De Ste Croix et al., 2017; Oliver et al., 2014). Ačkoli nebyly nalezeny signifikantní změny v ALS a RLS, byla nalezena individuální odpověď na soutěžní utkání z hlediska LS odpovědi, kdy někteří hráči ukazují pokles, jiní nárůst a někteří nevykazují žádné změny. Lehnert et al. (2019) uvádí jako vysvětlení poklesu pouze RSI využití výbušné síly během jejího testování pomocí testu maximálních vertikálních skoků z místa, kde snaha o maximální výkon mohla být více ovlivněna únavou vzniklou soutěžním utkáním. Individuální změny LS mohou být vysvětleny delší dobou kontaktu, většími odchylkami těžiště, nárůstem „poddajnosti“ akce a horší kvalitou dopadu (Komi, 2000). Vzhledem k individuálnímu růstu a zrání je vhodné v období růstového spurtu zvláště pracovat s relativní tuhostí dolních končetin, která zohledňuje tělesnou hmotnost a délku dolních končetin mladého sportovce (Lehnert et al., 2019).

Výsledky RLS v předkládané studii nezaznamenaly signifikantní změny hodnot před utkáním a po utkání ($36,37 \pm 6,8 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$; $35,39 \pm 5,3 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$). Toto zjištění není v souladu se studií De Ste Croix, Hughes, Lloyd, Oliver, a Read (2017), která po simulovaném utkání fotbalistek soutěžní kategorie U13 ($12,1 \pm 0,5$ let) zaznamenala pokles tohoto parametru ($44,64 \pm 5,5 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$ před utkáním, $42,41 \pm 7,7 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$ po utkání) a u skupiny U14 ($13,9 \pm 0,6$ let) dokonce nárůst hodnot RLS ($46,39 \pm 8,8 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$ před utkáním; $47,14 \pm 6,2 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$ po utkání). Mezi možná vysvětlení výsledků autoři uvádí předpubertální období, ve kterém se nacházela mladší skupina fotbalistek. Podle autorů se v tomto období objevuje inhibiční odpověď na specifickou fotbalovou únavu, která se u starší skupiny neprojevuje. Vliv na hodnoty LS má dopředná aktivita a rychlost napínacího reflexu a pokles LS souvisí s poklesem dopředné aktivity před dopadem

a nárůstem kokontrakce po dopadu. Dále autoři studie upozorňují, že tato strategie je více uplatňována u skupiny předpubertální než v pozdějším věku.

V naší studii jsme u hráčů kategorie U14 zaznamenali nárůst vnímané svalové bolesti po utkání ($p < 0,01$). Porovnání s ostatními studii u mladých fotbalistů je problematické, v důsledku nedostatku takových studií. Nicméně studie Varley et al. (2017) zaznamenala signifikantní nárůst vnímané svalové bolesti po utkání ($p < 0,01$).

Kategorie U16

U kategorie U16 byl po soutěžním utkání zjištěn signifikantní pokles hodnot RSI z hodnoty $1,76 \pm 0,3 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$ na hodnoty $1,50 \pm 0,2 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$ po utkání ($p < 0,01$). Hodnoty indexu velikosti účinku ukazují na velký efekt ($d = 1,31$). Výsledky parametrů neuromuskulárního řízení byly podpořeny významnými změnami v případě subjektivního hodnocení svalové bolesti pomocí VAS ($p < 0,001$; před utkáním: $1,8 \pm 2,0$; po utkání: $6,0 \pm 2,2$).

Pokles hodnot RSI by mohl být následkem vysoké intenzity utkání, která zvyšuje míru závislosti svalů na silové složce oproti původní rychlostní složce. Snížení RSI by mohlo vést ke zvýšenému riziku zranění při dopadech a prudkých změnách směru pohybu kvůli negativnímu vlivu na pružinový model tuhosti dolní končetiny a svalovou mechaniku, stejně jako u kategorie U14 (Comyns et al., 2011). Ratel a Martin (2015) ve své studii naznačují, že v tomto věku může dojít k postupnému snižování fyziologické ochrany proti únavě způsobené vysokou intenzitou cvičení. Touto ochranou můžeme rozumět snížení rychlosti rozvoje síly či snížení senzibilizace Golgiho šlachových tělísek a další fyziologické jevy uvedené dříve. K poklesu RSI mohlo také dojít z důvodů uvedených v části věnující se kategorii U14, kterými je změna nervové kontroly nebo omezená schopnost excentrického zatížení.

Obdobnou studii, ve které autoři došli ke shodným zjištěním, že vlivem zatížení dochází k poklesu RSI, je studie Fitzpatrick, Akenhead, Russell, Hicks a Hayes (2019) u elitních fotbalistů. Nejednalo se o soutěžní ani simulované utkání, ale sledování změn reaktivní síly po tréninkové jednotce vyvolané únavou. Fitzpatrick et al. (2019) hodnotili RSI pomocí výskoku po seskoku z vyvýšeného místa 24 hod. před, bezprostředně před, 24 hod. po a 48 hod. po standardní tréninkové jednotce (před jednotou $1,45 \pm 0,35$; 24 hod. po jednotce $1,29 \pm 0,24$). RSI bylo shledáno jako nástroj, který citlivě hodnotí tréninkové zatížení a vzniklou únavu a je dobře reprodukovatelný (Fitzpatrick et al., 2019). Výsledky

jejich studie ukazují na malý efekt (index velikosti účinku = 0,43) a hodnoty RSI jsou nižší než v naší studii. Přestože tato studie nedisponuje hodnotami bezprostředně po zatížení, jak je tomu v případě naší studie, v obou případech je vidět snížení hodnot RSI po zatížení. Výsledek poukazuje na to, že i u starších fotbalistů ($17,5 \pm 0,5$ let) hrajících anglickou Premier League dochází ke snížení neuromuskulárního řízení.

Na rozdíl od RSI nebyly u hráčů U16 po utkání zjištěny signifikantní změny LS. Rovněž ve studii Padua et al. (2006) ve shodě s našimi výsledky nenalezli žádné změny LS po zatížení vyvolaném únavovým protokolem jako tomu je v předkládané studii. Na rozdíl od ní však Padua et al. (2006) sledovali dospělé jedince, což stěžuje porovnání s mladými sportovci. Tito probandi absolvovali únavový protokol skládající se z mnoha skokových cvičení. I přes to, že nedošlo ke změnám tuhosti dolních končetin, změnila se aktivace svalů, strategie pohybů kloubů dolních končetin, které ovlivňují LS. Objevila se dominance kotníkové strategie při kinematické analýze s omezením kolenní strategie, došlo ke změnám intermuskulární koordinace mezi hamstringy a m. quadriceps femoris, což změnilo stabilitu kolenního kloubu a zvýšilo se riziko poranění LCA.

Relativní tuhost dolních končetin byla rovněž sledována ve studii (De Ste Croix, Hughes, Lloyd, Oliver, & Read, 2017), která po simulovaném utkání fotbalistek ($15,8 \pm 0,5$ let) zaznamenala nárůst tohoto parametru. Autoři zmiňované studie poukazují na možnou spojitost nárůstu hodnot relativní tuhosti dolních končetin po utkání se schopností zapojit vyšší počet motorických jednotek, než je tomu u mladších kategorií. Stejně tak lepší dopředná aktivita může způsobit tento efekt. U této, dle autorů, postpubertální skupiny se již neobjevuje inhibiční odpověď na specifickou fotbalovou únavu, která způsobovala pokles u mladších skupin.

Limity studie

V tomto výzkumu jsme měřili v terénu, okamžitě po soutěžním utkání a použili jsme randomizované pořadí testování na různých stanovištích, abychom zkrátili dobu sběru dat. Tento postup nevyhnutelně vedl k různým časovým rozdílům mezi koncem utkání a testováním jednotlivých proměnných, a to mohlo dílčím způsobem ovlivnit naše zjištění i přes použitou randomizační techniku. Dále u jednotlivých hráčů nebylo možné monitorovat herní zatížení, jelikož zařízení k tomu potřebná nemohou při soutěžním utkání mít na svém těle.

6.2 Studie změn neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu v průběhu soutěžního období

Kategorie U14

Zjištění této části výzkumu ukázala, že v průběhu soutěžního období dochází k signifikantním změnám ALS i RLS u kategorie U14 ($p = 0,02$; $p < 0,001$). U ALS byl zaznamenán signifikantní nárůst na konci soutěžního období ($26,67 \pm 6,5 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$) oproti jeho začátku ($22,57 \pm 5,1 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$), což odpovídá 18,2 %. U RLS byl zaznamenán signifikantní nárůst v polovině soutěžního období ($34,52 \pm \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$) oproti jeho začátku ($31,39 \pm 5,6 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$), což odpovídá 10,0 % a na konci SO ($38,59 \pm 5,6 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$) oproti jeho začátku, což odpovídá 10,5 %. Změna RSI v průběhu soutěžního období nebyla signifikantní u kategorie U14. Protože změny reaktivní síly a LS jsou ovlivněny únavou (Toumi et al., 2006), nalezené nevýznamné změny v průběhu SO nenaznačují kumulaci únavy během soutěžního období. Naopak naznačují, že schopnost změnit excentrickou svalovou akci na koncentrickou v SSC nebyla u hráčů zhoršena (Lloyd, Oliver, Hughes, & Williams, 2009).

LS hraje klíčovou roli v dynamické stabilitě kolenního kloubu, kdy tuhost reprezentuje odpor biostruktur proti zatížení během vykonávání pohybu v celém jeho rozsahu (Needle et al., 2014). Nárůst hodnot ALS a RLS bychom mohli vysvětlit jako fyziologický jev na vhodnou manipulaci s tréninkovým a soutěžním zatížením (Morris et al., 2018). Naše výsledky spíše ukazují, že manipulace s tréninkovým a soutěžním zatížením během SO byla adekvátní a nevedla ke kumulaci únavy. Jak je vidět ze záznamu tréninkového a soutěžního zatížení (Tabulka 5), nedocházelo k výrazným výkyvům v rámci celého sledovaného období. Počet utkání byl po celou dobu 1,09 hod. týdně, taktická příprava klesala od 0,53 k 0,51 hod. týdně. Regenerace byla na rozmezí 1,40 – 1,41 hod. týdně a celkový počet tréninkových jednotek se snížil z 6,02 na 5,98 hod. týdně.

Nárůst hodnot LS a RSI v průběhu SO lze v první řadě vysvětlit působením systematického zatěžování v rámci tréninkového procesu. Bylo prokázáno, že systematický silový trénink má pozitivní vliv na kondiční předpoklady sportovce jako akcelerační rychlost, rychlost se změnou směru, výbušná síla dolních končetin (Morris et al., 2018). Tento vliv byl hodnocen v uvedené studii pomocí testování reaktivní síly při vertikálním skoku z místa u 112 elitních fotbalistů věku 12–18 let, kdy došlo k nárůstu výšky vertikálního skoku z místa a zlepšením dalších fyzických kvalit. Tento výsledek podporuje nárůst LS a RSI v prezentované studii a spojitost se systematickým tréninkem, který obsahoval také silový

trénink. V našem výzkumu se hráči kategorie U14 věnovali silovému tréninku včetně výbušnosti v přípravném období 115,56 min. týdně, v podzimní části RTC 75,17 min. týdně, v jarní části 98,13 min. týdně. Kromě silového tréninku může mít na nárůst LS a RSI pozitivní vliv trénink reaktivní síly s využitím plyometrických cvičení, což lze rovněž usoudit na základě výsledků dalších studií (Lloyd, Oliver, Hughes, & Williams, 2012b; Ramirez-Campillo et al., 2018). Lloyd et al. (2012b) hodnotili vliv 4 týdenního plyometrického tréninkového programu u dětí ve třech věkových skupinách (9 let, 12 let a 15 let) na LS a RSI. Výsledky ukázaly na signifikantní nárůst RSI u skupiny 12letých, kteří se věnovali plyometrickému tréninku ($p = 0,02$). Nárůst ALS i RLS vlivem plyometrického tréninku byl zaznamenán u skupin 12 a 15letých. U kontrolní skupiny 12 a 15letých, kde naopak došlo k poklesu hodnot. Ramirez-Campillo et al. (2018) zaznamenali nárůst RSI o 23,3 % při skoku po seskoku z vyvýšeného místa (20 cm) během 6-7 týdenního plyometrického tréninkového programu u mladých fotbalistů ve věku 10-15 let. Zlepšení tohoto parametru není pro autory studie překvapující, protože vertikální skoky na místě mají základní mechanický rys podobný pružinovému modelu. Vzhledem těmto poznatkům a vzhledem k tomu, že do tréninkového procesu hráčů v prezentované studii byl pravidelně zařazován silový trénink včetně plyometrických cvičení se domníváme, že nárůst LS má především spojitost s tímto systematickým tréninkem.

Nárůst hodnot RSI a LS bychom také mohli vysvětlit jako fyziologický jev, kdy se hodnoty s vývojem sportovce zvyšují (Laffaye et al., 2016). Laffaye et al. (2016) vnímají rozmezí mezi 15. a 16. rokem jako mezník zrání, kdy chlapci dokáží začít účinněji využívat SSC. Tento názor je podložen jejich výsledky, které ukazují na signifikantní nárůst RSI mezi 13. až 14. rokem a 15. až 16. rokem (58,1 %) a mezi 17. až 18. a 19. až 20. rokem u nesportujících chlapců (20 %). Současně tato studie hodnotila změny ALS u stejných věkových skupin. ALS vzrostla z $24,7 \pm 10,6 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$ v 11-12 letech na $44,1 \pm 14 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$ v 19-20 letech, kdy do 16 let došlo k malému nárůstu (17 %) a následně k velkému nárůstu mezi 17. a 20. rokem (32,7 %). U RLS tento efekt pozorován nebyl. Tato studie, stejně jako studie Granata et al. (2002) dospěla k závěru, že u mužů jsou vyšší hodnoty LS ($33,9 \pm 8,7 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$ u mužů, $26,3 \pm 6,5 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$ u žen). Autoři druhé zmiňované studie si tento výsledek vysvětlují tím, že ALS se vypočítává s využitím tělesné hmotnosti, kterou mají muži vyšší. Rovněž studie Lloyd et al. (2012b) porovnávala hodnoty LS u třech věkových skupin a zaznamenala u 15 letých signifikantně vyšší hodnoty ALS než u dvou

mladších skupin. Věnovala se také hodnocení RSI u stejných skupin a i zde došla ke stejnému závěru.

Při interpretaci výsledků indikátoru neuromuskulární činnosti je nutné přihlídnout k výsledkům VAS, která poskytuje informace o aktuálním stavu probandů. Hodnoty VAS na začátku každého testování mohou poskytnout informaci o aktuálním stavu bolesti svalů dolních končetin jednotlivých hráčů a tím i o připravenosti fotbalisty na dané testování. U kategorie U14 byly tyto hodnoty v průměru $3,1 \pm 2,0$ na začátku SO; $0,9 \pm 1,0$ v polovině SO a $3,6 \pm 2,5$ na konci SO. Jak ukazují výsledky z posledního týdne před testováním, v polovině SO hráči neměli v týdnu žádné soutěžní utkání oproti stejnému období před testováním na začátku a na konci SO, což by mohlo vysvětlovat pokles hodnot VAS v polovině SO.

Kategorie U16

Zjištění této části výzkumu naznačují, že v průběhu soutěžního období dochází k signifikantním změnám RSI u kategorie U16 ($p = 0,02$). Byl zaznamenán signifikantní nárůst na konci soutěžního období ($1,92 \pm 0,3 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$) oproti jeho polovině ($1,68 \pm 0,3 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$), což odpovídá 12,5 %. U RLS byl zaznamenán signifikantní pokles na konci SO ($33,83 \pm 3,5 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$) oproti jeho začátku ($39,28 \pm 7,5 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$), což odpovídá 16 %. Protože změny reaktivní síly jsou ovlivněny únavou (Toumi et al., 2006), tento výsledek nenaznačuje kumulaci únavy během SO a naznačuje, že schopnost změnit excentrickou svalovou akci na koncentrickou v SSC nebyla u hráčů snížena stejně jako u kategorie U14 (Lloyd, Oliver, Hughes, & Williams, 2009). Naopak, i když změny v průběhu SO v případě LS jsou nejednoznačné, především pokles hodnot RLS by mohl ukazovat na kumulaci únavy během soutěžního období. Podle Laffaye et al. (2016) za ukončení fyziologického zvyšování LS je považován věk 15-16 let. Hráči této kategorie se během sledovaného období nacházeli v tomto věkovém rozpětí, z čehož vyplývá, že fyziologicky mohlo docházet ještě ke zvyšování LS. Nicméně jedna předchozí studie (Lloyd et al., 2011) uvádí, že RSI a LS vykazují omezené množství společné variability.

Hodnoty RSI hráčů kategorie U16 během SO naopak ukazují, že u hráčů nedocházelo ke kumulaci únavy. Tuto domněnku nepřímo podporuje také záznam tréninkového a soutěžního zatížení hráčů. Celkové zatížení bylo nižší, než doporučuje FIFA pro profesionální fotbalisty (O'Connor, Larkin, & Williams, 2017). Celkové tréninkové zatížení (Tabulka 5) během celého sledovaného období bylo obdobné. Sedm týdnů před 1.

testováním na začátku soutěžního období hráči trénovali průměrně 9,02 hod. týdně, mezi testováním na začátku a v polovině soutěžního období trénovali průměrně 9,13 hod. týdně a mezi polovinou a koncem soutěžního období trénovali taktéž průměrně 9,13 hod. týdně. Počet utkání byl nejvyšší během 9 týdnů před prvním testováním na začátku SO (2,0 týdně), během soutěžního období se snížil na 1,2 utkání týdně mezi začátkem SO a polovinou SO a dále na 1,15 utkání týdně mezi polovinou SO a koncem SO. Taktická příprava se snížila z 1,06 na 0,92 na konci SO a regenerace z 2,10 na 1,31. Na druhou stranu je třeba podotknout, že počet týdnů, který se sledoval mezi 2. a 3. testováním, byl výrazně vyšší než předchozí dvě sledované části, což bylo zapříčiněno nastavením soutěžního období dle termínového kalendáře. Během 5–6 dnů zatížení měli hráči průměrně 5–5,5 tréninkových jednotek s celkovou dobou zatížení mezi 7,64–8,33 hod. týdně.

Sledování dlouhodobého zatížení se věnovala studie Lloyd, Radnor, De Ste Croix, Cronin a Oliver (2015). Studie ukazuje na nárůst hodnot RSI již po šestitýdenním tréninkovém cyklu. Ve studii byli mladí probandi rozděleni do třech skupin. První skupina absolvovala plyometrický trénink, druhá tradiční silový trénink a třetí kombinaci obou typů. Současně byli probandi rozděleni na skupinu před dosažením PHV a po jeho dosažení. Výsledky ukázaly zvýšení hodnot RSI u všech tří tréninkových skupin před dosažením PHV. Autoři u této věkové kategorie zmiňují vhodnost pravidelného tréninku s menším důrazem na jeho samotnou náplň. U skupiny po dosažení PHV byl nárůst RSI zaznamenán pouze u plyometrického a kombinovaného tréninku. Oproti skupině před PHV je zde vidět efekt pouze u specificky zaměřených tréninkových skupin. RSI reprezentuje rychlý SSC a jeho nárůst vlivem šestitýdenního tréninkového programu u skupiny, která měla plyometrický a kombinovaný program, který mohl být způsoben množstvím cvičení, kde sportovci efektivně a kontrolovaně dopadali na zem s delší dobou kontaktu, což mohlo vést k adaptaci pomalého SSC a efektu učení.

Na vhodnost zařazení plyometrického tréninku dále ukazuje studie Akbari, Sahebozamani, Daneshjoo, & Amiri-Khorasani (2018), která se věnovala plyometrickým cvičením a cviku Nordic hamstring curl (součást programu FIFA 11+). Závěry též ukazují na pozitivní vliv těchto cvičení na zlepšení SSC a tím opět dochází ke zlepšení sportovního výkonu v této studii hodnocené výškou vertikálního skoku.

Dalším nástrojem pro podporu výsledků této studie je škála VAS. Hodnoty VAS na začátku každého testování napovídají o aktuálním stavu bolesti svalů dolních

končetin jednotlivých hráčů. U kategorie U16 byly tyto hodnoty v průměru $2,9 \pm 2,0$ na začátku SO; $2,3 \pm 1,5$ v polovině SO a $1,6 \pm 1,5$ na konci SO. Hodnoty na konci SO jsou nejnižší ze všech třech testování a neukazují tedy na vyšší únavu v den testování oproti těm předchozím.

Limity studie

Jedním z limitů předkládané studie je, že nebylo detailně sledováno tréninkové zatížení pomocí GPS, který zachycuje polohu, rychlost a vzdálenost přesunu hráče, neboť jej výzkumný tým neměl k dispozici. Tyto informace by bylo užitečné kombinovat se záznamy zatížení v tréninkových mikrocyclech, získanými od trenérů.

Jelikož tito hráči patří k profesionálnímu klubu, nebylo možné ovlivňovat předchozí tréninkové zatížení. To však ani nebylo našim záměrem, neboť jsme chtěli využít design s vysokou ekologickou validitou, aby hráči během celého soutěžního období absolvovali svůj běžný tréninkový proces.

Při hodnocení výsledků v rámci soutěžního období jsme si také vědomi nesourodosti v délce sledovaného období. Počet týdnů, který byl sledován mezi polovinou SO a koncem SO, byl výrazně vyšší než v předchozích dvou sledovaných částech. Jelikož byly termíny testování plánovány s ohledem na jednotlivá období RTC z důvodu ekologické validity studie, nebylo možné tomu zamezit.

6.3 Studie změn neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu během růstu a zrání

Kategorie U14

Zjištění této části výzkumu ukazují na signifikantní nárůst hodnot ALS v 2. roce ($24,76 \pm 6,2 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$) oproti 1. roku ($22,57 \pm 5,1 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$), což odpovídá 9,7 % a ve 3. roce ($28,13 \pm 5,1 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$) oproti 1. roku, což odpovídá 24,6 % ($p < 0,001$). Dále byly zaznamenány změny u RLS, kde došlo k signifikantnímu nárůstu hodnot o 2,1 % ve 2. roce ($35,27 \pm 6,2 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$) oproti 1. roku ($31,39 \pm 5,6 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$) a o 5,1 % ve 3. roce ($36,38 \pm 4,2 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$) oproti 1. roku ($p < 0,01$). Signifikantní nárůst byl zaznamenán také u RSI, a to ve 2. roce ($1,53 \pm 0,3 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$) oproti 1. roku ($1,32 \pm 0,3 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$) o 13,7 %, ve 3. roce ($1,73 \pm 0,3 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$) oproti 1. roku o 23,7 % a ve 3. roce oproti 2. roku o 11,6 %

($p < 0,001$). Tento nárůst může být ovlivněn především vývojem sportovců a dále vlivem pravidelné tréninkové činnosti.

V případě změn s věkem je třeba přihlížet k aktuální fázi biologického vývoje sportovců, který jsme predikovali pomocí PHV. Výsledky naznačují, že se situace před PHV a po něm liší. Hodnoty posunu od PHV u kategorie U14 během tří sledovaných let ukazují, že v 1. roce měření dosáhla většina hráčů U14 PHV (1. rok = $0,1 \pm 0,7$ roku; 2. rok = $0,5 \pm 0,6$ roku; 3. rok = $1,4 \pm 0,5$ roku; Tabulka 3). S dosažením vrcholu růstového spurtu, ke kterému v 1. roce měření došlo u většiny hráčů U14, se objevuje mnoho změn fyzických kvalit. V tomto období roste koncentrace hormonů, růstového hormonu, inzulínu podobného růstového faktoru 1, testosteronu, který zprostředkuje anabolické děje po fyzické aktivitě (Rogol et al., 2002).

Jelikož LS i RSI reprezentují účinnost SSC, změny obou indikátorů mohou být vysvětleny pomocí neuromuskulárních adaptací. Radnor et al. (2018) upozorňuje, že mechanismus zodpovědný za zvyšování účinnosti SSC není zcela znám, avšak na základě přehledu současné literatury za klíčové adaptace, které ovlivňují v průběhu růstu a zrání funkci SSC, považuje velikost svalu, úhel mezi podélnou osou svalu a jeho vlákna, délku fascikulu, tuhost šlachy, nábor motorických jednotek a dopřednou aktivitu. K funkčnímu rozvoji SSC může také docházet díky nárůstu akčního potenciálu.

Vysvětlením nárůstu RSI během třech let u kategorie U14, může být zlepšení reaktivní síly v pubertě následkem rozvoje neuromuskulární koordinace (Lloyd, Oliver, Hughes, & Williams, 2011, 2012a). Nárůst hodnot RSI by mohl být odůvodněn také tím, že u dětí je větší hustota a velikost Golgiho šlachových tělísek oproti dospělým. Během zrání však dochází k jejich desenzibilizaci. Proto současné zapojení antagonistů během zrání snižuje inhibici agonistů a tím dojde k zvýšení účinnosti SSC a k vyvinutí větší svalové síly. Omezení intermuskulární koordinace umožní nárůst dopředné aktivity během excentrické fáze SSC, což má pozitivní vliv na opětovné využití elastické energie, odpovědi napínacího reflexu a nervového potenciálu (Radnor et al., 2018).

Současná literatura uvádí, že vlivem věku dochází k nárůstu LS i RSI (Giminiani & Visca, 2017; Laffaye et al., 2016), což se shoduje s prezentovanou studií. Naše výsledky ukazující na nárůst hodnot s přibývajícím věkem se shodují se studií Lloyd, Oliver, Hughes a Williams (2012a), ve které došlo k signifikantnímu nárůstu RSI i ALS u věkové kategorie do 15 let oproti dvěma mladším (9 a 12 let). Rozdílné hodnoty před a po dosažení PHV byly

rovněž zaznamenány ve studii Lloyd et al. (2015), která byla představena ve druhé části diskuse.

Jako další faktor, který pravděpodobně ovlivnil změny v efektivitě SSC v průběhu tří sledovaných let u hráčů kategorie U14 by mohlo být tréninkové a soutěžní zatížení. Průměrné údaje o tréninkovém a soutěžním zatížení vykazují podobné hodnoty během sledovaných let (Příloha 6). Giminiani & Visca (2017) sledovali 19 hráčů ($13,3 \pm 0,1$ let), kteří hráli fotbal 7 let. Hodnotili explozivní sílu pomocí výskoku z podřepu a vertikálního skoku z místa, dále tuhost dolních končetin pomocí testu opakovaných submaximálních vertikálních skoků z místa a rychlost sprintu na 15 a 30 metrů. Výsledky ukázaly na signifikantní efekt času LS a následný post hoc test ukázal signifikantní nárůst ve druhém roce oproti prvnímu roku ($p = 0,05$; $p < 0,01$). Tento nárůst autoři odůvodňují jako adaptivní reakce na tréninkové zatížení, které mohou poskytnout vodítko pro optimalizaci trénovatelnosti některých výkonnostních proměnných u mladých fotbalistů. Za adaptivní reakce na tréninkové zatížení považují autoři zesílení úrovně aktivace svalů a opětovné využití elastické energie uložené v příčných můstcích. Obtížnost porovnání studií je z důvodu jiného výpočtu tuhosti dolních končetin nebo provedení samotného testu (průměr za 10 sekund testu opakovaných submaximálních vertikálních skoků z místa oproti 20 sekundám v naší studii. Na pozitivní vliv pravidelné sportovní aktivity také ukazuje např. studie Lloyd et al. (2012b), která zaznamenala nárůst LS i RSI u sportujících chlapců po čtyřech týdnech tréninku síly a plyometrickém tréninku na rozdíl od nespportujících chlapců, kde došlo k poklesu hodnot.

Kategorie U16

Zjištění této části výzkumu u kategorie U16 naznačují, že v rámci třech sledovaných let nastal signifikantní nárůst hodnoty pouze u RSI ($p = 0,01$). Signifikantní rozdíly u ALS a RLS nebyly prokázány, což může být spojeno s tím, že fotbalisté této věkové kategorie byli po celou dobu testování po PHV (hodnoty posunu od PHV: 1. rok testování $1,5 \pm 0,8$ roku, 2. rok testování $2,5 \pm 0,7$ roku a 3. rok testování $3,1 \pm 1,0$ roku; Tabulka 4). PHV mimo jiné sebou přináší nárůst koncentrace hormonů, růstového hormonu, inzulinu podobného růstového faktoru 1, testosteronu (Rogol et al., 2002). I z důvodu těchto fyziologických změn v těle sportovce je v tomto období vývoje doporučováno zvýšit velikost zatížení tréninku oproti předchozímu období. Nárůst zatížení někdy bývá spojen s nedostatkem specifčnosti, což může negativně ovlivnit dlouhodobý vývoj sportovce (Morris, et al., 2018).

Nárůst hodnot RSI, který se objevil v prezentované studii, se shoduje s tvrzením v současné literatuře, že vlivem růstu a zrání dochází k fyziologickému nárůstu tohoto indexu (Giminiani & Visca, 2017; Laffaye et al., 2016). Důvodem nárůstu může být již zmiňované větší spoléhání se na dopředné mechanismy, které dominují ve starším věku, než proces dozrávání (Priestley, 2012), které dominují ve starším věku. Dalším důvodem pro vysvětlení signifikantního nárůstu RSI může být zlepšení intermuskulární koordinace agonista-antagonista. Ta se zlepšuje s věkem a pozitivně ovlivňuje stabilitu kolenního kloubu (Radnor et al., 2018).

Hodnoty ALS i RLS zůstaly bez signifikantních změn, což se shoduje se studií Strniště et al. (2019), která také nezaznamenala vliv věku u stejně starých hráčů basketbalu.

Tato tvrzení jsou podpořena také studií na dívčích fotbalistkách U14, U16 a U17 (De Ste Croix, Hughes, Lloyd, Oliver, & Read, 2017). Studie poskytuje údaje o třech věkových skupinách a jejich LS. Kategorie U14 vykazovala hodnoty $44,64 \pm 5,5 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$, kategorie U16 hodnoty $46,39 \pm 8,8 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$ a kategorie U17 hodnoty RLS $36,46 \pm 6,6 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$. U prvních dvou skupin údaje odpovídají fyziologickému nárůstu hodnot tuhosti dolních končetin. Laffaye et al. (2016) odhadl konec fyziologického nárůstu na věk 15-16 let. Od tohoto věku již k fyziologickému nárůstu nedochází, čemuž odpovídají i nižší hodnoty u nejstarší skupiny, kde již hrají roli jiné faktory. Mezi tyto faktory můžeme řadit tréninkové a soutěžní zatěžování. Ratel a Martin (2015) naznačují, že během puberty může dojít k postupnému snižování fyziologické ochrany proti únavě způsobené vysokou intenzitou cvičení.

Jako další faktor ovlivňující změny v efektivitě SSC v průběhu tří sledovaných let by mohlo být tréninkové a soutěžní zatížení. Tréninkové a soutěžní zatížení této věkové kategorie bylo také průběžně zaznamenáváno (Tabulka 6). Z porovnání záznamu kategorie U16 a kategorií U14 je mj. zřejmé, že v prvním roce byli dokonce více zatěžováni hráči U14, ve druhém roce se však již tomu bylo naopak. K zjištěnému nárůstu RSI mohl z tohoto hlediska přispět především pozitivní vliv zařazení tréninku výbušné síly a rychlosti (Akbari et al., 2018; Lloyd et al., 2015). Z aspektu zatížení a zatěžování jsou zajímavé výsledky studie Morris et al. (2018), která se věnovala sportovcům v období po PHV. Studie, která hodnotila sprint na 10 a 30 metrů, dále výšku vertikálního skoku a další aspekty sportovního výkonu ukazuje na pozitivní přínos sportu jako takového v tomto období vývoje. U skupiny sportovců byly zaznamenány lepší hodnoty, než u skupiny kontrolní, ve které aktivní sportovci nebyli.

Limity studie

Stejně jako u druhé studie, i zde by bylo obohacující srovnání obsahu tréninku zaznamenávaného pomocí GPS, který jsme neměli k dispozici. Limitem může být i různorodé pořadí jednotlivých testů při testování v jednotlivých letech, kterým jsme chtěli zachovat randomizační charakter.

7 ZÁVĚRY

Dlouhodobý systematický trénink odpovídající věku fotbalistů je nezbytný nejen pro dosažení nejvyšší možné sportovní výkonnosti, ale současně pro snížení rizika zranění. Správná manipulace s tréninkovým a soutěžním zatížením v průběhu sportovní přípravy by se proto mělo brát v úvahu oba výše uvedené aspekty. Navzdory důkazům o vyšším riziku zranění vlivem únavy jsou v mládežnickém fotbale stále aplikovány tréninkové programy, jejichž náročnost neodpovídá trénovanosti a věkovým specifikům sportovců, a které nerespektují, že únava může představovat rizikový faktor zranění. Vzhledem k tomu, že svalové a nervosvalové řízení jsou modifikovatelnými rizikovými faktory, je důležité pochopit účinky únavy na tyto rizikové faktory, aby mohli trenéři zabránit kumulaci zatížení, které by mohlo zvyšovat riziko zranění. Za účelem získání nových poznatků o prevenci v mládežnickém věku, se práce zaměřila na tři dílčí problémové okruhy. Prvním z nich je zkoumání této problematiky v souvislosti se změnami vyvolanými následkem soutěžního utkání, druhým je zkoumání změn v průběhu soutěžního období a třetím okruhem jsou změny související s vývojem.

7.1 Závěry vzhledem k vlastnímu výzkumnému problému

Po soutěžním utkání nedošlo k signifikantním změnám absolutní a relativní tuhosti dolních končetin ani u kategorie U14 ani u kategorie U16. Výsledky studie zaměřené na změny neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu po soutěžním utkání ukazují, že zatížení v soutěžním utkání nesnižuje tuhost dolních končetin u fotbalistů kategorie U14 a U16. **Hypotéza H1 byla zamítnuta.**

Po soutěžním utkání došlo k signifikantnímu poklesu hodnot reaktivního silového indexu u kategorie U14 i U16 ($p = 0,04$; $p < 0,01$). Výsledky studie zaměřené na změny neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu po soutěžním utkání ukazují, že utkání vede k signifikantnímu snížení reaktivní síly. **Hypotéza H2 byla potvrzena.**

V průběhu soutěžního období byl pozorován signifikantní nárůst hodnot absolutní a relativní tuhosti dolních končetin u kategorie U14 ($p = 0,02$; $p < 0,001$). U kategorie U16 došlo k signifikantnímu poklesu relativní tuhosti dolních končetin na konci soutěžního období oproti jeho začátku ($p = 0,04$). Výsledky studie změn neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu v průběhu soutěžního období neukazují na snížení tuhosti dolních končetin

v důsledku kumulace soutěžního a tréninkového zatížení u fotbalistů kategorie U14 a U16.

Hypotéza H3 byla zamítnuta.

V průběhu soutěžního období došlo k signifikantnímu nárůstu hodnot reaktivního silového indexu u kategorie U16 ($p = 0,02$), změny u kategorie U14 byly nevýznamné. Výsledky studie změn neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu v průběhu soutěžního období neukazují na pokles reaktivní síly dolních končetin v důsledku kumulace neuromuskulární únavy u fotbalistů kategorie U14 a U16. **Hypotéza H4 byla zamítnuta.**

V průběhu tří sledovaných let došlo k signifikantnímu nárůstu hodnot absolutní svalové tuhosti dolních končetin pouze u kategorie U14 ($p < 0,001$). Signifikantní nárůst byl zaznamenán také u relativní tuhosti dolních končetin u kategorie U14 ($p < 0,01$). Výsledky studie změn neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu v průběhu během růstu a zrání neukazují na zlepšení tuhosti dolních končetin u fotbalistů kategorie U14 a U16. **Hypotéza H5 byla zamítnuta.**

V průběhu tří sledovaných let došlo k signifikantnímu nárůstu reaktivního silového indexu u kategorie U14 i U16 ($p < 0,001$; $p = 0,01$). Výsledky studie změn neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu během růstu a zrání ukazují na zvýšení reaktivního silového indexu u fotbalistů kategorie U14 a U16. **Hypotéza H6 byla potvrzena.**

7.2 Závěry a doporučení pro vědní obor

Realizované výzkumné studie u adolescentních fotbalistů, zaměřené na zhodnocení změn neuromuskulárního řízení kolenního kloubu po soutěžním utkání, v průběhu soutěžního období ročního tréninkového cyklu a v důležitém období růstu a zrání se zvýšeným rizikem zranění kolenního kloubu byly prvními studiemi tohoto charakteru v ČR a jsou ojedinělé i v kontextu světového písemnictví.

Studie zaměřená na zhodnocení změn neuromuskulárního řízení kolenního kloubu v důsledku zatížení vyvolaného soutěžním utkáním rozšířila současné poznatky uváděné ve světové literatuře, které byly dosud převážně získány studiemi využívajícími specifických únavových protokolů.

Studie spočívající ve sledování indikátorů neuromuskulárního řízení kolenního kloubu v období adolescence se zvýšeným rizikem zranění poskytla informace o změnách

ve fungování cyklu natažení-zkrácení v průběhu růstu a zrání u elitních mladých fotbalistů získané longitudinálním sledováním. Tyto informace schází jak v českém, tak v celosvětovém písemnictví.

Výsledky realizovaných výzkumných studií přinesly nové poznatky a zkušenosti v oblasti diagnostiky u sportující mládeže s využitím terénního testování tuhosti dolních končetin a reaktivní síly dolních končetin.

Doporučení pro další studie zaměřené na řešenou problematiku

V zaměření a realizaci navazujících studií by se mohla zohlednit následující doporučení:

- zaměřit se především na zhodnocení individuálních změn neuromuskulárního řízení kolenního kloubu a ev. dalších rizikových faktorů zranění kolenního kloubu,
- provést testování mezi prvním a druhým poločasem utkání k zhodnocení připravenosti pokračovat v herním výkonu,
- hodnotit změny neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu a ev. dalších rizikových faktorů zranění kolenního kloubu nejen během soutěžního období, ale rovněž v přípravném období,
- studie zaměřené na hodnocení změn v průběhu ročního tréninkového cyklu realizovat u fotbalových akademií, tj. u souborů trénujících podle „jednotného tréninkového systému“,
- ve studiích preferovat terénní testování, které je pro sportovce a trenéry přijatelnější a má vyšší ekologickou validitu,
- realizovat intervenční studie s cílem zhodnocení efektů preventivních tréninkových programů.

7.3 Doporučení pro praxi

Výsledky tohoto výzkumu ukazují na signifikantní pokles RSI po utkání, který může být asociován s únavou fotbalisty. Proto je vhodné v praxi preventivně pracovat se zjištěním, že únava vyvolaná soutěžním utkáním má inhibiční efekt na SSC. Tato prevence může vést ke snížení rizika zranění a eliminaci snížení výkonu ke konci utkání.

Vzhledem k akutním účinkům vyvolaných utkáním je třeba především při první tréninkové jednotce po soutěžním utkání brát v úvahu následný průběh zotavení.

Aby se zabránilo hromadění únavy během soutěžního období a zvýšenému riziku zranění mladých fotbalových hráčů, mělo by být hodnocení únavy a zotavení součástí diagnostického/monitorovacího systému během ročního tréninkového cyklu. Ten by měl být uplatňován zejména ve věkových obdobích se zvýšeným rizikem zranění (na základě vrcholů incidence zranění) a také po obdobích nárůstu tréninkového a soutěžního zatížení.

Trenéři by měli být informováni o změnách rizikových faktorů zranění v souvislosti s růstem a zráním, aby je mohli zohlednit při posuzování změn v průběhu ročního tréninkového cyklu. Tyto „přirozeně“ se vyskytující změny mohou v jeho některých obdobích maskovat účinky spojené s únavou.

8 SOUHRN

V teoretické části disertační práce jsou předloženy poznatky o současném pohledu na problematiku neuromuskulárního řízení kolenního kloubu, poznatky týkající se epidemiologie zranění ve fotbale, a to s přihlédnutím k třem dílčím problémovým okruhům týkajících se výskytu zranění při fotbalovém utkání, během ročního tréninkového cyklu a v průběhu sportovní přípravy mládeže ve fotbale. Z těchto důvodů jsou v této části rovněž zahrnuty informace o periodizaci ročního tréninkového cyklu a o etapách sportovní přípravy. Další část teoretických poznatků se věnuje rizikovým faktorům poranění kolenního kloubu, včetně anatomicko-biomechanicko-kineziologickému aspektu a následně jednotlivým rizikovým faktorům a nástrojům k jejich hodnocení. Na závěr teoretické části jsou uvedeny poznatky o únavě, o jejích neurofyziologických mechanismech a hodnocení. Z přehledu současných poznatků vyplynulo, že ke snížení incidence nekontaktních zranění kolenního kloubu by mohly přispět výsledky výzkumných sledování využívající modifikovatelné rizikové faktory jako tuhost dolních končetin a reaktivní síla. Cílem práce bylo posoudit změny neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu v průběhu sportovní přípravy v důležitém období vývoje

Výzkumná část disertační práce obsahuje tři dílčí studie, kterých se zúčastnili fotbalisté kategorie U14 a U16 z profesionálního fotbalového klubu hrajícího nejvyšší českou soutěž. První studie se zaměřila na změny neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu před a bezprostředně po fotbalovém utkání (U14 $n = 11$; U16 $n = 8$). Druhá studie zaměřená na změny neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu v průběhu soutěžního období sledovala hráče (U14 $n = 18$; U16 $n = 15$) na začátku soutěžního období ročního tréninkového cyklu (RTC), v jeho polovině a na konci soutěžního období RTC. Třetí studie se zaměřila na změny neuromuskulárního řízení stability kolenního kloubu během růstu a zrání (U14 $n = 14$; U16 $n = 11$). Ve všech třech studiích se hodnotili vybrané indikátory neuromuskulárního řízení kolenního kloubu (absolutní tuhost dolních končetin, ALS; relativní tuhost dolních končetin, RLS a reaktivní silový index, RSI).

Hodnocení změn sledovaných indikátorů v důsledku soutěžního utkání u obou věkových kategorií bylo provedeno pomocí párových t-testů. Pro hodnocení věcné významnosti byl použit koeficient Cohenovo d (malý $0,00 < d < 0,49$; střední $0,50 < d < 0,79$ a velký $d > 0,80$ efekt; Cohen, 1988). K hodnocení změn během soutěžního období a během

růstu a zrání byla využita jednofaktorová ANOVA pro opakovaná měření. Post hoc Tukey test byl použit k posouzení signifikantních rozdílů mezi výsledky jednotlivých testování. U těchto studií byl index velikosti účinku posouzen pomocí koeficientu eta squared (η^2 ; malý efekt $\eta^2 < 0,01$, střední efekt $0,059 < \eta^2 < 0,138$, velký efekt $0,138 < \eta^2$). Pro posouzení statistické významnosti rozdílů byla zvolena hladina α na úrovni $p = 0,05$.

Výsledky první studie ukázaly, že po absolvování fotbalového utkání se signifikantně snížily hodnoty RSI u kategorie U14 ($p = 0,04$) i u kategorie U16 ($p < 0,01$). Tento výsledek ukazuje, že zatížení v soutěžním utkání nesnižuje tuhost dolních končetin (LS) u fotbalistů kategorie U14 a U16.

Výsledky druhé studie ukázaly na změny ALS u kategorie U14 ($p = 0,02$), změny RLS u kategorie U14 ($p < 0,001$) i u kategorie U16 ($p = 0,04$) a změny RSI u kategorie U16 ($p = 0,02$). Post hoc testy ukázaly signifikantní pokles RLS u kategorie U16 na konci soutěžního období oproti jeho začátku ($p = 0,04$), signifikantní nárůst RSI u kategorie U16 na konci soutěžního období oproti jeho polovině ($p = 0,02$). U RLS byl zaznamenán signifikantní nárůst na konci soutěžního období oproti jeho začátku ($p < 0,001$) i v polovině soutěžního období oproti jeho začátku ($p = 0,02$). Tento výsledek ukazuje, že nedošlo k negativním změnám vyvolaným kumulací únavy během soutěžního období RTC u fotbalistů kategorie U14 a U16.

Výsledky třetí studie potvrdily nárůst ALS ($p < 0,001$), RLS ($p < 0,01$) i RSI ($p < 0,001$) u kategorie U14. U LS byl zaznamenán signifikantní nárůst hodnot ve 2. roce oproti 1. roku a ve 3. roce oproti roku 1. Dále byl zaznamenán statistický nárůst hodnot RSI ve 2. roce oproti 1. roku, ve 3. roce oproti roku 1. a rozdíl ve 3. roce oproti 2. roku. U kategorie U16 došlo k signifikantnímu nárůstu jen u RSI ($p = 0,01$). Nárůst LS a také RSI u fotbalistů v kategoriích U14 a U16 ukazuje na zlepšení efektivity SSC s věkem.

9 SUMMARY

The theoretical part presents current knowledge about neuromuscular control of the neuromuscular control of the knee, about the epidemiology of soccer injuries is described in three sub-studies that focused on their occurrence in soccer after match in soccer, during the annual training cycle, and youth training. These chapters are extended with information about the periodization of the annual training cycle and the phases of the sports preparations. The next part of the theoretical knowledge deals with the risk factors of a knee injury, including its anatomic-biomechanical-kinesiological background and risk factors and their tools for evaluation. The end of theoretical part is focused on fatigue, neurophysiological mechanisms, and evaluation. The theoretical part concluded that the decreasing incidence of non-contact knee injury could be contributed by the research's results using modified risk factors as leg stiffness and reactive strength. The aim of this study was to assess changes in the neuromuscular control of knee stability during sports preparation in an important part of development.

The research part of the dissertation contains three sub-studies concerning U14 and U16 soccer players from a professional soccer club playing the highest Czech League. The first study was focused on changes in the neuromuscular control of knee stability before and after the soccer match (U14 n = 11; U16 n = 8). The second study was focused on changes in neuromuscular knee stability control during the competition period (U14 n = 18; U16 n = 15). Data was taken at the beginning, in the middle and at the end of the annual training cycle (RTC). The third study was focused on changes in neuromuscular control of knee joint stability during growth and maturation (U14 n = 14; U16 n = 11). All three studies evaluate selected neuromuscular control indicators (absolute leg stiffness, ALS; relative leg stiffness, RLS, and reactive strength index, RSI).

Pair t-test was used to assess the changes after match. Determining the significance of the differences was set at the effect-size coefficient Cohen's d (small $0.00 < d < 0.49$; mean $0.50 < d < 0.79$ and large $d > 0.80$ effect; Cohen, 1988). One-repeated ANOVA was used for repeated measurements during the competition period and during growth and maturation. The Post hoc Tukey test was used to assess the significant differences between measurements. In these studies, the effect size was set at coefficient of eta-squared (η^2 ; small effect $\eta^2 < 0.01$,

medium effect $0.059 < \eta^2 < 0.138$, large effect $0.138 < \eta^2$). The α -level at $p = 0.05$ was chosen to assess the statistical significance.

RSI values in the first study in the U14 group ($p = 0.04$) and the U16 group ($p < 0.01$) significantly decreased after the soccer match. This result points out no reduction of leg stiffness (LS) after match in U14 and U16 soccers.

The results of the second study have shown the changes in ALS in the U14 group ($p = 0.02$), changes RLS in the U14 group ($p < 0.001$) and in U16 group ($p = 0.04$) and changes RSI in U16 group ($p = 0.02$). The Post hoc tests have shown significant decrease RLS in U16 group at the end of the competition period compare to the beginning ($p = 0.04$), significant increase in U16 group at the end of competition period compare to the mid-term ($p = 0.02$). Significant RLS increase was found at the end of competition period compare to the beginning ($p < 0.001$) and the mid-term compare to the beginning ($p = 0.02$). The results suggest that there are not any negatively altered changes caused by the accumulation of fatigue during the RTC competition period in U14 and U16 soccers.

Significant increase of ALS ($p < 0.001$), RLS ($p < 0.01$) and RSI ($p < 0.001$) in U14 group was found in the third study. A significant increase in LS was found in second year compare to first year and in third year compare to first year. A significant increase in RSI was found in second year compare to first year and in third year compare to first year and also in third year compare to second year. There were significant differences in RSI in the U16 group ($p = 0.01$). The increase of LS and RSI suggest the improvement of SSC efficiency in U14 and U16 soccers.

10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Ahmad, C. S., Clark, A. M., Heilmann, N., Schoeb, J. S., Gardner, T. R., & Levine, W. N. (2006). Effect of gender and maturity on quadriceps-to-hamstring strength ratio and anterior cruciate ligament laxity. *American Journal of Sports Medicine*, *34*, 370–374.
- Akbari, H., Sahebozamani, M., Daneshjoo, A., & Amiri-Khorasani, M. (2018). Effect of the FIFA 11+ programme on vertical jump performance in elite male youth soccer players. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine*, *7*, 17–22.
- Alentorn-Geli, E., Myer, G. D., Silvers, H. J., Samitier, G., Romero, D., Lazaro-Haro, C., & Cugat, R. (2009). Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee*, *17*, 705–729.
- Andersen, T. E., Tenga, A., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2004). Video analysis of injuries and incidents in Norwegian professional football. *British Journal of Sports Medicine*, *38*, 626–631.
- Anderson, T., Wasserman, E. B., & Shultz, S. J. (2019). Anterior cruciate ligament injury risk by season period and competition segment: An analysis of National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance data. *Journal of Athletic Training*, *54*, 787–795.
- Andersson, H., Raastad, T., Nilsson, J., Paulsen, G., Garthe, I., & Kadi, F. (2008). Neuromuscular fatigue and recovery in elite female soccer: Effects of active recovery. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *40*, 372–380.
- Anonymous. (2020). *Fibrine angle of a pennate muscle*. Retrieved from https://www.wikiwand.com/en/Muscle_architecture
- Arampatzis, A., Brüggemann, G. P., & Metzler, V. (1999). The effect of speed on leg stiffness and joint kinetics in human running. *Journal of Biomechanics*, *32*, 1349–1353.
- Armstrong, N., & Welsman, J. R. (1997). *Young people and physical activity*. Oxford, United Kingdom: Oxford University Press.
- Bangsbo, J., Iaia, F. M., & Krstrup, P. (2007). Metabolic response and fatigue in soccer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *2*, 111–127.

- 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. *American Journal of Sports Medicine*, *45*, 3388–3396.
- Basner, M., Fomberstein, K. M., Razavi, F. M., Banks, S., William, J. H., Rosa, R. R., & Dinges, D. F. (2007). American Time Use Survey: Sleep time and its relationship to waking activities. *Sleep*, *30*, 1085–1095.
- Bednařík, J., Ambler, Z., & Růžička, E. (2010). *Klinická neurologie*. Praha: Triton.
- Bernaciková, M., Kalichová, M., & Beránková, L. (2010). *Základy sportovní kineziologie*. Retrieved from <https://is.muni.cz/do/1451/e-learning/kineziologie/elportal/index.html>
- Bernaciková, M., Cacek, J., Dovrtělová, L., Hrnčířiková, I., Kapounková, K., Kopřivová, J. ... Ulbrich, T. (2013). *Regenerace a výživa ve sportu*. Brno: Masarykova univerzita.
- Bicer, E. K., Lustig, S., Servien, E., Selmi, T. A., & Neyret, P. (2010). Current knowledge in the anatomy of the human anterior cruciate ligament. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, *18*, 1075–1084.
- Bielicki, T. (1975). Interrelationships between various measures of maturation rate in girls during adolescence. *Studies in Physical Anthropology*, *1*, 51–64.
- Bielicki, T., Koniarek, J., & Malina, R. M. (1984). Interrelationships among certain measures of growth and maturation rate in boys during adolescence. *Annals of Human Biology*, *11*, 201–210.
- Bloomfield, J., Polman, R., & O'Donoghue, P. (2007). Physical demands of different positions in FA Premier League soccer. *Journal of Sports Science and Medicine*, *6*, 63–70.
- Bompa, T. O. (1999a). *Periodization training for sports*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Bompa, T. O. (1999b). *Periodization: Theory and methodology of training* (4th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Bonfim, T. R., Paccola, C. A. J., & Barela, J. A. (2003). Proprioceptive and behavior impairments in individuals with anterior cruciate ligament reconstructed knees. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *84*, 1217–1223.

- Bosco, C. (1992). *L'evaluation de la force par le test de Bosco*. Roma, Societa Stampa Sportiva.
- Brink, M. S., Visscher, C., Arends, S., Zwerver, J., Post, W. J., & Lemmink, K. (2010). Monitoring stress and recovery: New insights for the prevention of injuries and illnesses in elite youth soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, *44*, 809–815.
- Brophy, R., Silvers, H. J., Gonzales, T., & Mandelbaum, B. R. (2010). Gender influences: The role of leg dominance in ACL injury among soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, *44*, 694–697.
- Brughelli, M., & Cronin, J. (2008). A review of research on the mechanical stiffness in running and jumping: Methodology and implications. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *18*, 417–426.
- Bruton, M. R., O'Dwyer, N., & Adams, R. (2013). Sex differences in the kinematics and neuromuscular control of landing: Biological, environmental and sociocultural factors. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *23*, 747–758.
- Buzek, M. (2003). Přípravné období. *Fotbal a trénink*, *4*, 14–21.
- Cavagna, G. A., Granzetti, P., Heglund, N. C., & Willems, P. (1988). The determinants of the step frequency in running, trotting and hopping in man and other vertebrates. *Journal of Physiology*, *399*, 81–92.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Comyns, T. M., Harrison, A. J., & Hennessy, L. K. (2011). An investigation into the recovery process of a maximum stretch-shortening cycle fatigue protocol on drop and rebound jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *25*, 2177–2184.
- Cormack, S. J., Newton, R. U., & McGuigan, M. R. (2008). Neuromuscular and endocrine responses of elite players to an Australian Rules Football match. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *3*, 359–374.
- Coutts, A. J., Slattery, K. M., & Wallace, L. K. (2007). Practical tests for monitoring performance, fatigue and recovery in triathletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *10*, 372–381.

- Čoh, M., Živković, V., & Žvan, M. (2016). Biodynamic analysis of the vertical jumping. *Research in Physical Education, Sport and Health*, 5(2), 3–10.
- Dalleau, G., Belli, A., Viale, F., Lacour, J. R., & Bourdin, M. (2004). A simple method for field measurements of leg stiffness in hopping. *International Journal of Sports Medicine*, 25, 170–176.
- Dallinga, J.M., Beniaminse, A., & Lemmink, K.A. (2012). Which screening tools can predict injury to the lower extremities in team sports?: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 42, 791–815.
- Deehan, D. J., Bell, K., & Mccaskie, A. W. (2007). Adolescent musculoskeletal injuries in a football academy. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 89, 5–8.
- DeAngelis, A. I., Needle, A. R., Kaminski, T. W., Royer, T. R., Knight, C. A. & Swanik, C. B (2015). An acoustic startle alters knee joint stiffness and neuromuscular control. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 25, 509–516.
- De Ste Croix, M. B. A. (2007). Muscle strength. In N. Armstrong, N. Spurway, D. MacLaren, & N. C. C. Sharp (Eds.), *Paediatric Exercise Physiology*, 47–69.
- 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: Intersession reliability and the fatiguing effects of soccer-specific exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31, 3052–3058.
- De Ste Croix, M. B. A., Lehnert, M., Maixnerova, E., Zaatar, A., Svoboda, Z., Botek, M., Varekova, R., & Stastny, P. (2019). Does maturation influence neuromuscular performance and muscle damage after competitive match-play in youth male soccer players? *European Journal of Sport Science*, 19, 1130–1139.
- De Ste Croix, M. B. A., Priestley, A. M., Lloyd, R. S., & Oliver, J. L. (2015). ACL injury risk in elite female youth soccer: Changes in neuromuscular control of the knee following soccer-specific fatigue. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 25, 531–538.
- Duthon, V. B., Barea, C., Abrassart, S., Fasel, J. H., Fritschy, D., & Ménétrey, J. (2006). Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 14, 204–213.

- Dutto, D. J. & Smith, G. A. (2002). Changes in spring-mass characteristics during treadmill running to exhaustion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34, 1324-1331. Retrieved from: https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2002/08000/Changes_in_spring_mass_characteristics_during.14.aspx
- Dylevský, I. (2009). *Kineziologie – základy strukturální kineziologie*. Praha: Triton. ISBN: 978-80-7387-324-0
- Edwards, T., Spiteri, T., Piggott, B., Bonhotal, J., Haff, G. G., & Joyce, C. (2018). Monitoring and managing fatigue in basketball. *Sports*, 6, 19.
- Ekstrand, J., Hägglund, M., & Waldén, M. (2009). Injury incidence and injury patterns in professional football: The UEFA injury study. *British Journal of Sports Medicine*, 45, 553–558.
- Elliot, D., & Weitzman, M. (1976). Circadian rhythms and episodic hormone secretion in man. *Annual Review of Medicine*, 27, 225–243.
- Enoka, R. (2003). *Neuromechanics of human movement*. Human Kinetics, Champaign, IL.
- Engström, B., Forssblad, M, Johansson, Ch. (1990). Does a major knee injury definitely sideline an elite soccer player? [Abstrakt]. *American Journal of Sports Medicine*, 18, 101–105.
- Faigenbaum, A. D., Farrell, A. C., Fabiano, M., Radler, T. A., Naclerio, F., Ratamess, N. A., & Myer, G. D.(2013). Effects of detraining on fitness performance in 7- year-old children. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27, 323–330.
- Farley, C. T., Glasheen, J. & McMahon, T. A. (1993). Running springs: speed and animal size. *The Journal of Experimental Biology*, 185, 71–86.
- Fatouros, I. G., Chatzinikolaou, A., Douroudos, I., Nikolaidis, M. G., Kyparos, A., Margonis, K., ... Jamurtas, A. Z. (2010). Time-course of changes in oxidative stress and antioxidant status responses following a soccer game. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24, 3278–3286.
- Fawcner, S. G., & Armstrong, N. (2007). Oxygen uptake kinetics. In N. Armstrong, N. Spurway, D. MacLaren, & N. C. C. Sharp (Eds.), *Paediatric Exercise Physiology*, 189–211.

- Fitzpatrick, J. F., Akenhead, R., Russell, M., Hicks, K. M., & Hayes, P. R. (2019). Sensitivity and reproducibility of a fatigue response in elite youth football players. *Science and Medicine in Football*, 3, 214–222.
- Flanagan, E. P., & Comyns, T. M. (2008). The Use of Contact Time and the Reactive Strength Index to Optimize Fast Stretch-Shortening Cycle Training. *Strength and Conditioning Journal*, 30, 32–38.
- Flanagan, E. P., Ebben, W. P., & Jensen, R. L. (2007). Reliability of the reactive strength index and time to stabilization during depth jumps. *Symposium, Ouro Preto- Brazil*.
- Fox, A. S., Bonacci, J., McLean, S. G., Spittle, M., & Saunders, N. (2014). What is normal? Female lower limb kinematic profiles during athletic tasks used to examine anterior cruciate ligament injury risk: A systematic review. *Sports Medicine*, 44, 815–832.
- Gall, F. Le, Carling, C., Reilly, T., Vandewalle, F., Church, J., & Rochcongar, P. (2006). Incidence of injuries in elite French youth soccer players a 10-season study. *American Journal of Sports Medicine*, 34, 928–938.
- Gallo, T. F., Cormack, S. tuart J., Gabbett, T. J., & Lorenzen, C. H. (2017). Self-reported wellness profiles of professional Australian football players during the competition phase of the season. *Journal Of Strength and Conditioning Research*, 31, 495–502.
- Gastin, P. B., Meyer, D., & Robinson, D. (2013). Perceptions of wellness to monitor adaptive responses to training and competition in elite Australian football. *Journal Of Strength and Conditioning Research*, 27, 2518–2526.
- Gathercole, R., Sporer, B., Stellingwerff, T., & Sleivert, G. (2015). Alternative countermovement-jump analysis to quantify acute neuromuscular fatigue. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10, 84–92.
- Giminiani, R. Di, & Visca, C. (2017). Explosive strength and endurance adaptations in young elite soccer players during two soccer seasons. *PLOS*, 12.
- 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 Od Electromyography and Kinesiology*, 12, 127–135.
- Greene, P. R., & McMahon, T. A. (1979). Reflex stiffness of man's anti-gravity muscles during kneebends while carrying extra weights. *Journal of Biomechanics*, 12, 881–891.

- Grosset, J. F., Mora, I., Lambertz, D., & Perot, C. (2007). Changes in stretch reflexes and muscle stiffness with age in prepubescent children. *Journal of Applied Physiology*, *102*, 2352–2360.
- Halson, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Medicine*, *44*, 139–147.
- Hamilton, D. (2009). Drop jumps as an indicator of neuromuscular fatigue and recovery in elite youth soccer athletes following tournament match play [Abstrakt]. *Journal of Australian Strength & Conditioning*, *17*, 3–6.
- Hawkins, R. D., & Fuller, C. W. (1999). A prospective epidemiological study of injuries in four English professional football clubs. *British Journal of Sports Medicine*, *33*, 196–203.
- Hawkins, R. D., Hulse, M. A., Wilkinson, C., Hodson, A., Gibson, M., Way, N., ... Care, P. (2001). The association football medical research programme: an audit of injuries in professional football. *British Journal of Sports Medicine*, *35*, 43–47.
- Heaton, L. E., Davis, J. K., Rawson, E. S., Nuccio, R. P., Witard, O. C., Stein, K. W., ... Baker, L. B. (2017). Selected in-season nutritional strategies to enhance recovery for team sport athletes: A practical overview. *Sports Medicine*, *47*, 2201–2218.
- Henke, T., Luig, P., & Schulz, D. (2014). Sports injuries in German club sports, aspects of epidemiology and prevention. *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz*, *57*, 628-637.
- Hewett, T. E. (2000). Neuromuscular and hormonal factors associated with knee injuries in female athletes: Strategies for intervention. *Sports Medicine*, *29*, 313-327.
- Hewett, T. E., Myer, G. D., & Zazulak, B. T. (2008). Hamstrings to quadriceps peak torque ratios diverge between sexes with increasing isokinetic angular velocity. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *11*, 452-459.
- Hewett, T. E., Shultz, S. J., & Griffin, L. Y. (2007). *Understanding and preventing noncontact ACL injuries*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Hughes, G., & Watkins, J. (2006). A risk-factor model for anterior cruciate ligament injury. *Sports Medicine*, *36*, 411–428.

- Chelly, M. S., & Denis, C. (2001). Leg power and hopping stiffness : relationship with sprint running performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33, 326–333.
- Choutka, M., & Dovalil, J. (1991). *Sportovní trénink*. Praha: Olympia. ISBN 8070330996
- Chromiak, J. (2013). Kompletní program FIFA 11+. *Unie českých fotbalových trenérů ČMFS*, 4, 29–32.
- Chua, Y. K., Kawabata, M., Burns, S., Cai, C., & Kong, W. P. (2016). Effects of massage on post-exercise muscle stiffness: preliminary findings. *34rd International Conference of Biomechanics in Sport, Tsukuba, Japan, July 18-22, 2016*, 34, 243–246.
- Ispirlidis, I., Fatouros, I. G., Jamurtas, A. Z., Nikolaidis, M. G., Michailidis, I., Douroudos, I., ... Taxildaris, K. (2008). Time-course of changes in inflammatory and performance responses following a soccer game. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 18, 423–431.
- James, C. R., Scheuermann, B. W., & Smith, M. P. (2010). Effects of two neuromuscular fatigue protocols on landing performance [Abstrakt]. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20, 667–675.
- Janura, M. (2003). *Úvod do biomechaniky pohybového systému člověka*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Janura, M., Vařeka, I., Lehnert, M., Svoboda, Z., et al. (2012). *Metody biomechanické analýzy pohybu*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Jebavý, R., Hojka, V., & Kaplan, A. (2017). *Kondiční trénink ve sportovních hrách*. Praha: Grada.
- Junge, A., Cheung, K., Edwards, T., & Dvorak, J. (2004). Injuries in youth amateur soccer and rugby players— comparison of incidence and characteristics. *British Journal of Sports Medicine*, 38, 168–172.
- Kapandji, I. (1987). *The physiology of the joints: Lower limbs, Volume 2. Eng. ed. of the 5th ed.* New York: Churchill Livingstone, ISBN 04430361872.
- Karas, V., Otáhal, S., & Sušanka, P. (1990). *Biomechanika tělesných cvičení*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství.

- Kerdok, A. M. Y. E., Biewener, A. A., Mahon, T. A. M. C., Weyand, P. G., Herr, H. M., Amy, E., ... Ener, H. M. H. (2002). Energetics and mechanics of human running on surfaces of different stiffnesses. *Journal of Applied Physiology*, 92, 469–478.
- Knowles, S. B. (2010). Is there an injury epidemic in girls' sports? *British Journal of Sports Medicine*, 44, 38–44.
- Kolář, P. (1996). Diferenciace svalové funkce z hlediska posturální podstaty. *Medicina Sportiva Bohemica et Slovaca 1*, 4–8.
- Kolář, P. (2009). *Rehabilitace v klinické praxi*. Praha: Galén. ISBN 978-80-7262-657-1.
- Komi, P. V. (2000). Stretch-shortening cycle: A powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal of Biomechanics*, 33, 1197–1206.
- Komi, P., & Gollhofer A. (1997). Stretch reflex can have an important role in force enhancement during SSC exercises. *Journal of Applied Biomechanics*, 13, 451–459.
- Korff, T., Horne, S. L., Cullen, S. J., & Blazevich, A. J. (2009). Development of lower limb stiffness and its contribution to maximum vertical jumping power during adolescence. *The Journal of Experimental Biology*, 212, 3737–3742.
- Kotzamanidou, M., Michailidis, I., Hatzikotoulas, K., Hasani, A., Bassa, E., & Kotzamanidis, C. (2005). Differences in recovery process between adult and pre-pubertal males after a maximal isokinetic fatigue task. *Isokinetics and Exercise Science*, 13, 261–266.
- Křivohlavý, J. (1992). *Bolest - její diagnostika a psychoterapie*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví. ISBN 8070131306.
- Kujala, U. M., Taimela, S., Antti-Poika, I., Orava, S., Tuominen, R., & Myllynen, P. (1995). Acute injuries in soccer, ice hockey, volleyball, basketball, judo, and karate: analysis of national registry data. *BMJ*, 311, 1465–1468.
- Laffaye, G., Choukou, M. A., Benguigui, N., & Padulo, J. (2016). Age- and gender-related development of stretch shortening cycle during a sub-maximal hopping task. *Biology of Sport*, 33, 29–35.
- Lazaridis, S., Bassa, E., Patikas, D., Giakas, G., Gollhofer, A., & Kotzamanidis, C. (2010). Neuromuscular differences between prepubescent boys and adult men during drop jump. *European Journal of Applied Physiology*, 110, 67–74.

- Lee, K. A., Hicks, G., Nino-Murcia, G. (1989). Validity and reliability of a scale to assess fatigue. *Western Journal of Nursing Research*, *11*, 128–132.
- Lehnert, M., De Ste Croix, M., Stastny, P., Maixnerova, E., et al. (2019). *The influence of fatigue on injury risk in male youth soccer*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-5558-7.
- Lehnert, M., De Ste Croix, M., Zaatari, A., Hughes, J., Varekova, R., & Lastovicka, O. (2017). Muscular and neuromuscular control following soccer-specific exercise in male youth: Changes in injury risk mechanisms. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *27*, 975–982.
- Lehnert, M., Kudláček, M., Háp, P., Bělka, J., et al. (2014). *Sportovní trénink*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Lehnert, M., Novosad, J., Neuls, F., Langer, F., & Botek, M. (2012). *Trénink kondice ve sportu*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Myer, G. D., & De Ste Croix, M. B. (2014). Chronological age vs. biological maturation: implications for exercise programming in youth. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *28*, 1454–1464.
- 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*, 1565–1573.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & Williams, C. A. (2011). The influence of chronological age on periods of accelerated adaptation of stretch-shortening cycle performance in pre and postpubescent boys. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *25*, 1889–1897.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & Williams, C. A. (2012a). Age-related differences in the neural regulation of stretch-shortening cycle activities in male youths during maximal and sub-maximal hopping [Abstrakt]. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *22*, 37–43.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & Williams, C. A. (2012b). The effects of 4-weeks of plyometric training on reactive strength index and leg stiffness in male youths. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *26*, 2812-2819. Retrieved from:

<https://journals.lww.com/nsca->

[jscr/Fulltext/2012/10000/The_Effects_of_4_Weeks_of_Plyometric_Training_on.27.aspx](https://journals.lww.com/nsca-jscr/Fulltext/2012/10000/The_Effects_of_4_Weeks_of_Plyometric_Training_on.27.aspx)

- Lloyd, R. S., Radnor, J. M., De Ste Croix, M. B. A., Cronin, J. B., & Oliver, J. L. (2015). Changes in sprint and jump performance following traditional, plyometric and combined resistance training in male youth pre- and post-peak height velocity. *Journal of Strength and Conditioning Research, 30*, 1239–1247.
- Lohmander, L. S., Englund, P. M., Dahl, L. L., & Roos, E. M. (2007). The long-term consequence of anterior cruciate ligament and meniscus injuries: Osteoarthritis. *American Journal of Sports Medicine, 35*, 1756–1769.
- Mandelbaum, B. R., Silvers, H. J., Watanabe, D. S., Knarr, J. F., Thomas, S. D., Griffin, L. Y., . . . Garrett Jr, W. (2005). Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training program in preventing anterior cruciate ligament injuries in female athletes: 2-year follow-up. *American Journal of Sports Medicine, 33*, 1003–1010.
- Manzi, V., D'Ottavio, S., Impellizzeri, F. M., Chaouachi, A., Chamari, K., & Castagna, C. (2010). Profile of weekly training load in elite male professional basketball players. *Journal of Strength and Conditioning Research, 24*, 1399–1406.
- Mašát, P., Dylevský, I., & Havlas, V. (2005). Výsledky operací náhrad předního zkříženého vazů kolenního kloubu. *Biomedicína, 7*, 145–152. Retrieved from: <https://docplayer.cz/4642842-Vysledky-operaci-nahrad-predniho-zkrizeneho-vazu-kolenniho-kloubu-results-of-surgical-restorations-of-knee-anterior-cruciate-ligament.html>
- Mayer, M. & Smékal, D. (2004). Měkké struktury kolenního kloubu a poruchy motorické kontroly. *Rehabilitace a fyzikální lékařství, 3*, 111–117.
- Máček, M., & Radvanský, J. (2011). *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Praha: Galén. ISBN 978-80-7262-695-3.
- McMahon, T. A., & Cheng, G. C. (1990). The mechanics of running: How does stiffness couple with speed? [Abstrakt]. *Journal of Biomechanics, 23*, 65–78.
- Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D., ... Urhausen, A. (2012). Special communications. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 1*, 186–205.

- Melnyk, M., & Gollhofer, A. (2007). Submaximal fatigue of the hamstrings impairs specific reflex components and knee stability. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, *15*, 525–532.
- 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), 689–94. Retrieved from: https://www.usask.ca/kin-growthutility/phv_ui.php
- Missitzi, J., Geladas, N., & Klissouras, V. (2004). Heritability in Neuromuscular Coordination: Implications for Motor Control Strategies. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *36*, 233–240.
- Mohr, M., Draganidis, D., Chatzinikolaou, A., Barbero-Álvarez, J. C., Castagna, C., Douroudos, I., ... Fatouros, I. G. (2016). Muscle damage, inflammatory, immune and performance responses to three football games in 1 week in competitive male players. *European Journal of Applied Physiology*, *116*, 179–193.
- Mohr, M., Krstrup, P., & Bangsbo, J., (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, *21*, 519–528.
- Morgans, R., Owen, A., Doran, D., Drust, B., & Morton, J. P. (2015). Prematch salivary secretory immunoglobulin a in soccer players from the 2014 World Cup Qualifying Campaign. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *10*, 401–403.
- Morin, J. B., Jeannin, T., Chevallier, B. & Belli, A. (2006). Spring-Mass Model Characteristics During Sprint Running: Correlation with Performance and Fatigue-Induced Changes [Abstrakt]. *International Journal of Sports Medicine*, *27*, 158–165.
- Morris, R., Emmonds, S., Jones, B., Myers, T. D., Clarke, N. D., Lake, J., Ellis, M., Singleton, D., Roe, G., & Till, K. (2018). Seasonal changes in physical qualities of elite youth soccer players according to maturity status: comparisons with aged matched controls. *Science and Medicine in Football*, *2*, 272–280.
- Moutte, S., Brudvik, C., & Morken, T. (2015). Physicians ' use of pain scale and treatment procedures among children and youth in emergency primary care - a cross sectional study. *BMC Emergency Medicine*, *15*, 1–8.

- Müller, L., Hildebrandt, C., Müller, E., Fink, C., & Raschner, C. (2017). Long-Term athletic development in youth alpine ski racing: The effect of physical fitness, ski racing technique, anthropometrics and biological maturity status on injuries. *Frontiers in Physiology*, 8, 656.
- Nagano, A., Komura, T., Fukashiro, S., & Himeno, R. (2005). Force, work and power output of lower limb muscles during human maximal-effort countermovement jumping [Abstrakt]. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 15, 367–376.
- Needle, A. R., Baumeister, J., Kaminski, T. W., Higginson, J. S., Farquhar, W.B., & Swanik, C. B. (2014). Neuromechanical coupling in the regulation of muscle tone and joint stiffness. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 24, 737–748.
- Netter, F. (2005). *Anatomický atlas člověka*. Praha: Grada. ISBN 80-247-1153-2.
- Neumann, D. A., et al. (2010). *Kinesiology of the musculoskeletal system*. 2. vyd. St. Louis: Mosby Elsevier, 725, ISBN 978-0-323-03989-5.
- Novák, J. (2013). Co se děje v organismu hráče při fotbalovém utkání. Unie českých fotbalových trenérů ČMFS, 4, 10–13.
- O'Connor, D., Larkin, P., & Williams, A. M. (2017). Observations of youth football training : How do coaches structure training observations of youth football training: How do coaches structure training sessions for player development? *Journal of Sports Sciences*, 36, 39–47.
- Oliver, J. L., De Ste Croix, M. B., Lloyd, R. S., & Williams, C. A. (2014). Altered neuromuscular control of leg stiffness following soccer-specific exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 114, 2241–9.
- Oliver, J. L., & Smith, P. M. (2010). Neural control of leg stiffness during hopping in boys and men. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20, 973–979.
- Padua, D., Arnold, B. L., Perrin, D. H., Gansneder, B. M., Carcia, C. R., & Granata, K. P. (2006). Fatigue, vertical leg stiffness, and stiffness control strategies in males and females. *Journal of Athletic Training*, 41, 294–304.

- Parkkari, J., Pasanen, K., Manila, V. M., Kannus, P., & Rimpelä, A. (2008). The risk for a cruciate ligament injury of the knee in adolescents and young adults: A population-based cohort study of 46 500 people with a 9 year follow-up. *British Journal of Sports Medicine*, *42*, 422–426.
- Paul, D. J., Nassis, G. P., Whiteley, R., Marques, J. B., Kenneally, D., & Chalabi, H. (2014). Acute responses of soccer match play on hip strength and flexibility measures : potential measure of injury risk. *Journal of Sports Sciences*, *32*, 1318–1323.
- Pedretti, A., Matta, M.O., Pedretti, A., Werneck, F. Z., & Seabra, A.F.T. (2019). Anthropometric characteristics, physical fitness components and technical skills, a comparison between Brazilian and Portuguese young soccer players. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, *12*, 235–238.
- Perič, T., & Dovalil, J. (2010). *Sportovní trénink*. Praha: Grada.
- Pfirkmann, D., Herbst, M., Ingelfinger, P., Simon, P., & Tug, S. (2016). Analysis of injury incidences in male professional adult and elite youth soccer players: A systematic review. *Journal of Athletic Training*, *51*, 410–424.
- Podraza, J. T. & White, S. C. (2010). Effect of knee flexion angle on ground reaction forces, knee moments and muscle co-contraction during an impact-like deceleration landing: Implications for the non-contact mechanism of ACL injury [Abstrakt]. *The Knee*, *17*, 291–295.
- Price, R. J., Hawkins, R. D., Hulse, M. A., & Hodson, A. (2004). The Football Association medical research programme: An audit of injuries in academy youth football. *British Journal of Sports Medicine*, *38*, 466–471.
- Priestley, A. M. (2012). *Exploring the role of football specific fatigue on dynamic knee stability in elite female youth football players*. [Disertační práce]. Gloucestershire: University of Gloucestershire.
- Psotta, R. (2006). *Fotbal: kondiční trénink: moderní koncepce tréninku, principy, metody a diagnostika, teorie sportovního tréninku*. Praha: Grada Publishing. ISBN 8024708213.
- Quammen, D., Cortes, N., Lunen, B. L. Van, Lucci, S., Ringleb, S. I., & Onate, J. (2012). Two different fatigue protocols and lower extremity motion patterns during a stop-jump task. *Journal of Athletic Training*, *47*, 32–41.

- Radnor, J. M., Oliver, J. L., Waugh, Ch. M., Myer, G. D., Moore, I. S., & Lloyd, R. S. (2018). The influence of growth and maturation on stretch-shortening cycle function in youth. *Sports & Medicine*, 48, 57–71.
- Ramirez-Campillo, R., Alvarez, C., Gentil, P., Moran, J., García-Pinillos, F., Alonso-Martínez, A. M., & Izquierdo, M. (2018). Inter-individual variability in responses to 7 weeks of plyometric jump training in male youth soccer players. *Frontiers in Physiology*, 9, 1–11.
- 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-years longitudinal study. *British Journal of Sports Medicine*, 46, 1065–1071.
- Ratel, S., & Martin, V. (2015). Is there a progressive withdrawal of physiological protections against high-intensity exercise-induced fatigue during puberty? *Sports*, 3, 346–357.
- Read, P. J., Oliver, J. L., De Ste Croix, M. B. A., Myer, G. D., & Lloyd, R. S. (2016). Consistency of field-based measures of neuromuscular control using force-plate diagnostics in elite male youth soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30, 3304–3311.
- Read, P. J., Oliver, J. L., De Ste Croix, M. B. A., Myer, G. D., & Lloyd, R. S. (2018a). An audit of injuries in six English professional soccer academies. *Journal of Sports Sciences*, 36, 1542–1548.
- Read, P. J., Oliver, J. L., Myer, G. D., & Lloyd, R. S. (2018b). The effects of maturation on measures of asymmetry during neuromuscular control tests in elite male youth soccer players. *Pediatric Exercise Science*, 30, 168–175
- Renstrom, P., Ljungqvist, A., Arendt, E., Beynon, B., Fukubayashi, T., Garrett, W., ... Wojtys, E. (2008). Non-contact ACL injuries in female athletes: an International Olympic Committee current concepts statement. *British Journal of Sports Medicine*, 42, 394–412.
- Riegrová, J., Přidalová, M., & Ulbrichová, M. (2006). *Aplikace fyzické antropologie v tělesné výchově a sportu (příručka funkční antropologie)*. Olomouc: Hanex. ISBN 80-85783-52-5

- Robertson, D. G. E., Wilson, J. J., & Pierre, T. A. S. (2008). Lower extremity muscle functions during full squats. *Journal of Applied Biomechanics*, 24, 333–339.
- Rodacki, A. L. F., Fowler, N. E., & Bennett, S. J. (2002). Vertical jump coordination: fatigue effects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(1), 105–116. Retrieved from the: https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2002/01000/Vertical_jump_coordination__fatigue_effects.17.aspx
- Rogol, A. D., Roemmich, J. N., & Clark, P. A. (2002). Growth at puberty. *Journal of Adolescent Health*, 31, 192–200.
- Rumpf, M. C., & Cronin, J. (2012). Injury incidence, body site, and severity in soccer players aged 6–18 years: Implications for injury prevention. *Strength and Conditioning Journal*, 34, 20–31.
- Russell, P. J., Croce, R. V, Swartz, E. E., & Decoster, L. C. (2007). Knee-muscle activation during landings: developmental and gender comparisons. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39, 159–169.
- Rutherford, O. M. (1988). Muscular coordination and strength training. Implications for injury rehabilitation. *Sports & Medicine*, 5, 196–202.
- Sangnier, S. & Tourny-Chollet, C. (2007). Compararison of the decrease in strength between hamstrings and quadriceps during isokinetic fatigue testing in semiprofessional soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 28, 952–957.
- Shea, K. G., Pfeiffer, R., Jo, H. W., 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, 623–628.
- Schaal, K., Meur, Y. Le, Bieuzen, F., Petit, O., Hellard, P., Toussaint, J., & Hausswirth, C. (2013). Effect of recovery mode on postexercise vagal reactivation in elite synchronized swimmers. *Applied Physiology, Nutrition & Metabolism*, 38, 126–133.
- Scholz, J. P., Millford, J. P., & McMillan, A. G. (2017). Neuromuscular coordination of squat lifting, i: effect of load magnitude. *Physical Therapy*, 75(2), 119–132.
- Schneider J, Wiegand Y, Braumann K-M, Wollesen B. (2019). Functional and motor deficits in youth soccer athletes – an explorative, quasi-experimental study. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 70, 14–20.

- Sigmundová, D. & Sigmund, E. (2015). *Trendy v pohybovém chování českých dětí a adolescentů*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Silver, H. J., & Mandelbaum, B. R. (2006). Prevention of anterior cruciate ligament injury in the female athlete. *British Journal of Sports Medicine*, *41*, 52–29.
- Silvers-Granelli, H. J., Bizzini, M., Arundale, A., Mandelbaum, B. R., & Snyder-Mackler, L. (2017). Does the FIFA 11+ injury prevention program reduce the incidence of ACL injury in male soccer players? *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 1–9.
- Small, K., McNaughton, L., Greig, M., & Lovell, R. (2010). The effects of multidirectional soccer-specific fatigue on markers of hamstring injury risk. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *13*, 120–125.
- Smékal, D., Kalina, R., & Urban, J. (2006). Rehabilitace po artroskopických náhradách předního zkříženého vazů. *Acta chirurgiae orthopaedicae et traumatologiae Čechoslovaca*, *73*, 421–428.
- Smith, N. A., Chounthirath, T., & Xiang, H. (2016). Soccer-related injuries treated in emergency departments: 1990-2014. *Pediatrics*, *138*, 1–9.
- Solomonow, M., & Krogsgaard, M. (2001). Sensorimotor control of knee stability. A review. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *11*, 64–80.
- Strniště, M., Hůlka, K., Lehnert, M., Maixnerová, E., Vařeková, R., & Lazecká, Š. (2019). Neuromuscular control of the knee joint during basketball season in male youth players. *Acta Gymnica*, *49*, 125–131.
- Suchomel, T. J., Sole, C. J., Bailey, C. A., Grazer, J. L., & Beckham, G. K. (2015). A comparison of reactive strength index-modified between six U.S. collegiate athletic teams. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *29*, 1310–1316.
- Rozzi, S. L., Lephart, S. M., & Fu, F. H. (1999). Effects of muscular fatigue on knee joint laxity and neuromuscular characteristics of male and female athletes. *Journal of Athletic Training*, *3*, 106–114.
- Tanner, J. M. (1962). *Growth at adolescence* (2nd ed.). Oxford, United Kingdom: Blackwell Publishers.

- Taylor, K.-L., Chapman, D. W., Cronin, J. B., Newton, M. J., & Gill, N. (2012). Fatigue monitoring in high performance sport: A survey of current trends. *Journal of Australian Strength and Conditioning, 20*, 12–23.
- Thorpe, R. T., Atkinson, G., Drust, B., & Gregson, W. (2017). Monitoring fatigue status in elite team-sport athletes: Implications for practice. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 12*, 27–35.
- Thorpe, R. T., Strudwick, A. J., Buchheit, M., Atkinson, G., Drust, B., Gregson, W. (2015). Monitoring fatigue during the in-season competitive phase in elite soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 10*, 958–964.
- Thorpe, R. T., Strudwick, A. J., Buchheit, M., Atkinson, G., Drust, B., & Gregson, W. (2016). The tracking of morning fatigue status across in-season training weeks in elite soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 11*, 947–952.
- Thorpe, R., & Sunderland, C. (2012). Muscle damage, endocrine, and immune marker response to a soccer match. *Journal of Strength and Conditioning Research, 26*, 2783–2790.
- Toumi, H., Poumarat, G., Best, T. M., Martin, A., Fairclough, J., & Benjamin, M. (2006). Fatigue and muscle-tendon stiffness after stretch-shortening cycle and isometric exercise. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 31*, 565–572.
- Truellová, I. (2007). Situace v oblasti dětských úrazů v České republice. *Prevence, 2*, 81–89.
- Ťupa, F. (2000). Tuhost svalu a její komponenty. *Rehabilitace a fyzikální lékařství, 4*, 162–165.
- van Mechelen, W., Hlobil, H., & Kemper, H. C. G. (1992). Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries: A review of concepts. *Sports & Medicine, 14*, 82–99.
- Varley, I., Lewin, R., Needham, R., Thorpe, R. T., & Burbear, R. (2017). Association between match activity variables, measures of fatigue and neuromuscular performance capacity following elite competitive soccer matches. *Journal of Human Kinetics, 60*, 93–99.
- Vařeka, I. (2002). Posturální stabilita 1. část: Terminologie a biomechanické principy. *Rehabilitace a fyzikální lékařství, 4*, 115–121.

- Vänttinen, T., Blomqvist, M., Nyman, K., & Häkkinen, K. (2011). Changes in body composition, hormonal status, and physical fitness in 11-, 13-, and 15- year-old Finnish regional youth soccer players during a two-year follow-up. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *25*, 3342–335.
- Versey, N. G., Halson, S. L., & Dawson, B. T. (2013). Water immersion recovery for athletes: Effect on exercise performance and practical recommendations. *Sports & Medicine*, *43*, 1101–1130.
- Waldén, M., Häggglund, M., Werner, J., & Ekstrand, J. (2011). The epidemiology of anterior cruciate ligament injury in football (soccer): A review of the literature from a gender-related perspective. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, *19*, 3–10.
- Wang, L. I., Lin, D. C., & Huang, C. (2004). Age effect on jumping techniques and lower limb stiffness during vertical jump. *Research in Sports Medicine*, *12*, 209–219.
- Wilcock, I. M., Cronin, J. B., & Hing, W. A. (2006). Physiological response to water immersion. *Sports & Medicine*, *36*, 747–765.
- Williams, A. M., & Reilly, T. (2000). Talent identification and development in soccer. *Journal of Sports Sciences*, *18*, 657–667.
- Williams, G. N., Barrance, P. J., Snyder-Mackler, L., Axe, M. J., & Buchanan, T. S. (2003). Specificity of muscle action after anterior cruciate ligament injury. *Journal of Orthopaedic Research*, *21*, 1131–1137.
- Woodward, M. (2016). *Vzdělávání badmintonových trenérů: Trenérská příručka: Úroveň 1*. Praha: Mladá fronta.
- Yoo, J. H., Lim, B. O., Ha, M., Lee, S. W., Oh, S. J., Lee, Y. S., & Kim, J. G. (2010). A meta-analysis of the effect of neuromuscular training on the prevention of the anterior cruciate ligament injury in female athletes. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, *18*, 824–830.
- Zajac, A., Chalimoniuk, M., Maszczyk, A., Gołasz, A., & Lngfort, J. (2015). Central and peripheral fatigue during resistance exercise: A criterial review. *Journal of Human Kinetics*, *49*, 159–169.

11 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1:** Vyjádření Etické komise FTK UP
- Příloha 2:** Informovaný souhlas
- Příloha 3:** Vizuální analogová škála
- Příloha 4:** Provedení testu submaximálních vertikálních skoků z místa
- Příloha 5:** Provedení testu 5 maximálních vertikálních skoků z místa

Příloha 1. Vyjádření Etické komise FTK UP



Fakulta tělesné kultury
Univerzity Palackého
tř. Míru 115
OLOMOUC

Vyjádření Etické komise FTK UP

Složení komise: doc. PhDr. Dana Štěrbová, Ph.D. – předsedkyně
Mgr. Ondřej Ješina, Ph.D.
doc. MUDr. Pavel Maňák, CSc.
Mgr. Filip Neuls, Ph.D.
Mgr. Michal Kudláček, Ph.D.
doc. Mgr. Erik Sigmund, Ph. D.
Mgr. Zdeněk Svoboda, Ph. D.

Na základě žádosti ze dne 13. 3. 2015 byl projekt základního výzkumu (výzkumného sledování)

Autoři: **doc. PaedDr. Michal Lehnert, Dr., Prof. Mark De Ste Croix, Ph.D., Prof. RNDr. Miroslav Janura, Dr., PhDr. Petr Šťastný, Ph.D., Mgr. Zdeněk Svoboda, Ph.D., Mgr. Amr Zaatar, Ph.D., PhDr. Michal Botek, Ph.D., Mgr. Karel Hůlka, Ph.D., RNDr. Milan Elfmark**

s názvem **Kumulativní efekt únavy na neuromuskulární řízení kolene a riziko zranění u mladých sportovců během růstu a zrání**

schválen Etickou komisí FTK UP pod jednacím číslem: 14 / 2015

dne: 19. 3. 2015.

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.

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

razítko fakulty

Příloha 2: Informovaný souhlas

***UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUČ, FAKULTA TĚLESNÉ
KULTURY***

Informovaný souhlas pro nezletilé účastníky studie

Kumulativní efekt únavy na neuromuskulární řízení kolene a riziko zranění u mladých sportovců během růstu a zrání

Jméno:

Datum narození:

Účastník byl do studie zařazen pod číslem:

1. Já, níže podepsaný (á) souhlasím s účastí mého syna/dcery ve studii.
2. Byl (a) jsem podrobně informován (a) o cíli studie, o jejích postupech, a o tom, co se od mého syna/dcery mě očekává. Beru na vědomí, že prováděná studie je výzkumnou činností. Porozuměl (a) jsem tomu, můj syn/dcera může kdykoliv svou účast přerušit či odstoupit a že účast ve studii je dobrovolná.
3. Při zařazení do studie budou data mého syna/dcery uchována s plnou ochranou důvěrnosti dle platných zákonů ČR. Je zaručena ochrana důvěrnosti osobních dat. Pro výzkumné a vědecké účely mohou být údaje mého syna/dcery poskytnuty pouze bez identifikačních údajů (anonymní data) nebo s mým výslovným souhlasem.
4. S účastí mého syna/dcery ve studii není spojeno poskytnutí žádné odměny.
5. Porozuměl jsem tomu, že jméno mého syna/dcery se nebude nikdy vyskytovat v referátech o této studii. Já naopak nebudu proti použití výsledků z této studie.

Podpis zákonného zástupce:

Datum:

Příloha 3. Vizuální analogová škála

Škála VAS

Zaznač křížkem na níže uvedené přímce, jakou bolest svalů pociťuješ:

Žádná
bolest



Nesnesitelná
bolest

Jméno a příjmení:

Datum:

Příloha 4. Provedení testu submaximálních vertikálních skoků z místa



Příloha 5. Provedení testu 5 maximálních vertikálních skoků z místa

