

Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta tělesné kultury

HODNOCENÍ DOPADU PO VERTIKÁLNÍM SKOKU U MLADÝCH FOTBALISTŮ
V PRŮBĚHU SOUTĚŽNÍHO OBDOBÍ
Diplomová práce

Autor: Bc. Tomáš Morávek

Studijní program: Učitelství tělesné výchovy pro 2. stupeň ZŠ a SŠ se specializacemi

Vedoucí práce: doc. Mgr. Zdeněk Svoboda, Ph.D.

Olomouc 2022

Bibliografická identifikace

Jméno autora: Bc. Tomáš Morávek

Název diplomové práce: Hodnocení dopadu po vertikálním skoku u mladých fotbalistů v průběhu soutěžního období

Vedoucí diplomové práce: doc. Mgr. Zdeněk Svoboda, Ph.D.

Pracoviště: Katedra přírodních věd v kinantropologii

Rok obhajoby: 2022

Abstrakt: Diplomová práce se zabývá hodnocením rizika bezkontaktního zranění předního zkříženého vazů kolene. K hodnocení byl použit Lanading Error Scoring System (LESS). Testováno bylo 20 hráčů ve věkové kategorii U14 a 24 hráčů ve věkové kategorii U16. Výsledky vychází z dat získaných během čtyř měření. Z toho se tři měření uskutečnily v průběhu jedné sezóny, a to na začátku, v polovině a na konci sezóny. Poslední čtvrté měření proběhlo na začátku další sezóny. Pohyb při dopadu byl zaznamenán pomocí dvou kamer, které snímaly hráče z boku (sagitální pohled) a zepředu (frontální pohled). Data byla zaznamenána do excelových tabulek a vyhodnocena pomocí LESS. V průběhu sledovaného období došlo u hráčů ke zlepšení sledovaného skóre (snížení sledovaných hodnot), avšak rozdíl byl významný pouze v porovnání měření na začátku sezóny a s měřením s ročním odstupem v kategorii U14.

Klíčová slova: zranění, prevence, přední zkřížený vaz (ACL), fotbal, Landing Error Scoring System (LESS)

Souhlasím s půjčováním závěrečné písemné práce v rámci knihovních služeb.

Bibliographical identification

Author: Bc. Tomáš Morávek

Title of the thesis: Evaluation of the impact after the vertical jump of young football players during the competition period

Supervisor: doc. Mgr. Zdeněk Svoboda, Ph.D.

Department: Department of Natural Sciences in Kinanthropology

The year of presentation: 2022

Abstract: The thesis deals with the evaluation of the risk of contactless injury of the anterior cruciate ligament of the knee. The Landing Error Scoring System (LESS) was used for evaluation. 20 players in the U14 age category and 24 players in the U16 age category were tested. The results are based on data obtained during four measurements. Of these, three measurements took place during one season, at the beginning, in the middle and at the end of the season. The last fourth measurement took place at the beginning of the next season. Impact movement was recorded using two cameras that captured players from the side (sagittal view) and front (front view). The data were recorded in Excel tables and evaluated using LESS. During the observed period, the players' improved score improved (reduced values), but the difference was significant only in comparison with the measurement at the beginning of the season and with the measurement with an annual interval in the U14 category.

Keywords: injury, prevention, anterior cruciate ligament (ACL), football, Landing Error Scoring System (LESS)

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

Prohlašuji, že jsem závěrečnou písemnou práci zpracoval samostatně s odbornou pomocí doc. Mgr. Zdeňka Svobody, Ph.D., uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a řídil se zásadami vědecké etiky.

V Olomouci dne

.....

Děkuji panu doc. Mgr. Zdeňkovi Svobodovi, Ph.D. za pomoc, ochotu a cenné rady, které mi poskytl při zpracování diplomové práce. Dále za to, že diplomová práce mohla vzniknout za podpory projektu grantové agentury České Republiky č. GA16-13750S s názvem „Kumulativní efekt únavy na neuromuskulární řízení kolene a riziko zranění u mladých sportovců během růstu a zrání.“

Obsah

1 Úvod.....	8
2 Přehled poznatků.....	10
2.1 Fotbal.....	10
2.1.1 Charakteristika fotbalu	10
2.1.2 Profil hráče ve fotbale	10
2.2 Charakteristika staršího a mladšího žactva	18
2.2.1 Fyzický vývoj	19
2.3 Sportovní trénink.....	24
2.3.1 Roční tréninkový cyklus.....	24
2.4 Zatížení.....	27
2.5 Únava	28
2.6 Zotavení a regenerace	29
2.7 Zranění ve fotbale	32
2.7.1 Mechanismus úrazu ACL.....	36
2.7.2 Poranění kolene	39
2.8 Prevence	43
2.8.1 Stabilita kolenního kloubu.....	44
2.8.2 Neuromuskulární funkce	46
2.8.3 Mechanika odrazu a dopadu	47
2.8.4 Programy prevence zranění	49
2.8.5 Valgózní a varózní postavení kolen	50
2.9 Hodnocení mechaniky dopadu.....	52
2.9.1 Landing Error Scoring Systém (LESS).....	52
3 Cíle.....	54
3.1 Cíle práce	54
3.2 Dílčí cíle.....	54

3.3 Výzkumná otázka.....	54
4 Metodika	55
4.1 Charakteristika souboru	55
4.2 Metoda.....	55
4.3 Průběh měření	55
4.3.1 Zpracování dat	56
5 Výsledky	57
6 Diskuze	65
7 Závěr	69
8 Souhrn.....	70
9 Summary	71
10 Referenční seznam.....	72
11 Přílohy.....	87

1 Úvod

Diplomová práce se zabývá mechanikou dopadu, která může mít vliv na poranění předního zkříženého vazů (anterior cruciate ligament – ACL). Během pohybové aktivity jsou různé části těla zatěžovány. Vyšší zátěž v kombinaci s neoptimálním nastavením segmentů těla při provádění specifických pohybových úloh může mít za následek zranění. Smyslem této práce je předejít zranění u mladých sportovců. Mnoho odborníků ve svých publikacích, studiích a knihách uvádí různé příčiny zranění. Například Stevens et al. (2012) tvrdí, že na zranění má také významný vliv nadměrná tělesná hmotnost a hypoaktivita. Navíc samotné dospívání je považováno za zvláště náročné období, jak po fyzické, tak i po psychické stránce. Sport může být jednou z možností, jak snáze projít obtížným obdobím puberty.

Pro dosažení nejvyšší úrovně ve sportu je nezbytné zvolit adekvátní trénink a minimalizovat riziko zranění, protože to může trénink na dlouhou dobu přerušit. Vytvořením vhodných podmínek pro rozvoj talentu a výkonu je složité. Překročení hranic a nadměrný trénink s sebou nesou riziko akutního poranění. Tréninky zvláště pro mládežnický fotbal musí být specifické pro věk, růst a zrání (Fajfer, 2005). Trenér tedy musí vždy vzít v úvahu růst a vývoj dítěte. To hraje důležitou roli v rozvoji jejich dovedností a následné výkonnosti. Programy pro rozvoj mládeže by se vedle zlepšení výkonnosti měly zaměřit také na regeneraci. V tom se shodují Morris et al. (2018) i Read, Oliver, De Ste Croix, Myer a Lloyd (2018). Lepší výkonnost sportovců je často spojena s větším objemem tréninku, který však může vyvolat větší únavu. Při nedostatečné době zotavení se riziko poranění zvyšuje. U mladých sportovců je výskyt bezkontaktních zranění poměrně vysoký, častější je na trénincích než v utkání. To může souviset s příliš velkým tréninkovým objemem nebo pozápasovou únavou. Lehnert et al. (2019) uvádí, že by trenéři měli rozpoznat rizikové ukazatele zranění, určit stupeň únavy a předejít nahromaděné únavě, která zvyšuje riziko zranění. Při plánování struktury ročního tréninkového cyklu nebo jen u tréninkových jednotek je potřeba správně volit poměr zatížení a odpočinku. V opačném případě se zvyšuje riziko zranění hráčů spojené s přítomností akutní, reziduální a kumulativní únavy.

Jedním z běžných bezkontaktních zranění, a to nejen u fotbalistů, je poranění předního zkříženého vazů (ACL). Řešením tohoto problému by mohla být včasná prevence. Padua et al. (2009) pro posouzení rizika zranění používá metody, které na základě analýzy doskoku charakterizují míru rizika zranění ACL. Jejich využívání je

bohužel stále i přes negativní následky zranění ACL v současné době omezené. Jednou z těchto testovacích metod je Landing Error Scoring System (LESS).

Záměrem této práce je posoudit možnosti využití LESS u mladých fotbalistů a zhodnotit jeho změny v průběhu jednoho roku.

2 Přehled poznatků

2.1 Fotbal

2.1.1 Charakteristika fotbalu

Fotbal pochází z Anglie. Na počátku jeho vzniku připomínal spíše boj o míč, kde proti sobě nastoupilo i několik stovek hráčů. Utkaly se proti sobě například sousedící vesnice nebo i města. Brankou jim mohla být městská brána. Fotbal a rugby byli dříve jeden sport a po rozdělení svazu si každý šel svou cestou. Od tohoto počátku se fotbal vyvíjel až do dnešní podoby.

V současné době je fotbal sport s největším počtem registrovaných sportovců na světě (Dvorak, Junge, Graf-Bauman, & Peterson, 2004). Více než 200 milionů lidí z 203 států jsou členy Federace mezinárodních fotbalových asociací (FIFA). Unie Evropské fotbalové asociace (UEFA) má 23 milionů členů v 51 zemích (Volpi & Taioli, 2012).

Fotbalové utkání hrají dvě družstva proti sobě o jedenácti hráčích na každé straně. Hráči se dělí na čtyři základní posty: brankář, obránce, záložník a útočník. Cílem hry je vstřelit míč do soupeřovy branky, bez pomoci rukou. Branky je dosaženo ve chvíli, když míč přejde celým svým objemem brankovou čáru. Utkání vyhrává ten, kdo má na konci hrací doby, kterou ukončí rozhodčí, vyšší počet vstřelených branek. Hrací plocha má obdélníkový tvar o rozměru minimálně 90 x 45 metrů a maximálně 120 x 90 metrů. Rozměry brankové konstrukce jsou 7,5m na šíř a 2,5m na výšku (Kureš et al., 2016).

Pro fotbal, stejně jako jiné kolektivní sporty, je typická týmová spolupráce, která však s sebou nese poměrně vysokou pravděpodobnost přímého kontaktu se soupeřem, spoluhráči a míčem. Navíc se fotbal neustále zrychluje, a tím riziko kontaktních i bezkontaktních zranění narůstá.

2.1.2 Profil hráče ve fotbale

Hráči fotbalu by měli být dobře připraveni prakticky ve všech aspektech tělesné kondice. Trénovaný fotbalista disponuje poměrně značně rozvinutými pohybovými schopnostmi, avšak v žádné z nich nemusí výrazně vynikat, na rozdíl od sportovců v individuálních sportech. Tím lze částečně vysvětlit přitažlivost fotbalu a důvod, proč jej může hrát téměř každý. V průběhu zápasu provede fotbalista až tisíc různých činností, které se mění každých 4 - 6 sekund. Vzhledem k tomu, že se činnosti hráče velmi často a nepředvídatelně mění, mají fotbalisté obvykle dobře rozvinuté obratnostní schopnosti.

2.1.2.1 Herní posty

V dnešním moderním fotbale rozlišujeme 4 základní herní posty, které se mohou lišit týmovou taktikou.

Brankář: je zvláštní postavení hráče, který má za úkol zamezit vstřelení branky. Jako jediný hráč na hřišti může zahrát v pokutovém území rukou. Nejčastěji rozehrává volné přímé kopy z oblasti pokutového území. Brankář se může pohybovat po celém hřišti, je však povinen mít odlišnou barvu dresu od ostatních hráčů. Každý tým má na hrací ploše pouze jednoho brankáře.

Obránce: spolu s ostatními obránci tvoří obranou linii, která je nejbližší jejich vlastní bráně. Jeho hlavní úkol je defenzivního charakteru, takže se snaží zabránit protihráči v útoku. V moderním fotbale se od obránce vyžaduje, aby podpořil rychlý protiútok i postupný útok. Vzniká tím přečíslení a zvyšuje se tak šance vstřelit branku.

Záložník: pohybuje se převážně ve středové linii hřiště a vytváří tak spojení mezi obranou a útokem. Jeho povinnosti jsou obranného i útočného charakteru. Záložník je ve většině případů technicky vyspělejší z důvodů rozehrávky, založení útočných akcí a přechodu obranné linie protihráče.

Útočník: jeho úkolem je překonat obranu druhého týmu a vstřelit branku. Většinou je prvním, kdo vyvíjí tlak na soupeře (pressing), aby došlo ke ztrátě míče.

2.1.2.2 Fyziologické předpoklady hráčů

Ve fotbale hráči provádějí přerušovanou (intermitentní) práci. Přestože se hráči pohybují z větší části nízkou intenzitou (více než 70 % utkání), měření srdeční frekvence naznačuje, že průměrná spotřeba kyslíku u elitních fotbalistů je kolem 70 % maxima (VO_2max). To lze vysvětlit 150 – 250 krátkými intenzivními akcemi, které špičkový hráč během utkání provede. Existují velké individuální rozdíly ve fyzické úrovni hráčů závislé na taktické roli v týmu. Tyto rozdíly je třeba vzít v úvahu při plánování tréninkových a výživových strategií špičkových hráčů, kteří vyžadují značný energetický příjem během týdne (Bangsbo, Mohr, & Krustup, 2006).

Pohybová aktivita je jakýkoli pohyb prováděný pomocí kosterního svalstva. Vede ke zvýšenému energetickému výdeji a je určován délkou, frekvencí, intenzitou a typem svalové kontrakce (Howley, 2001). Ve sportovních hrách lze pohybovou aktivitu popsat jako opakování krátkých intervalů fyzické aktivity s vysokou nebo maximální intenzitou,

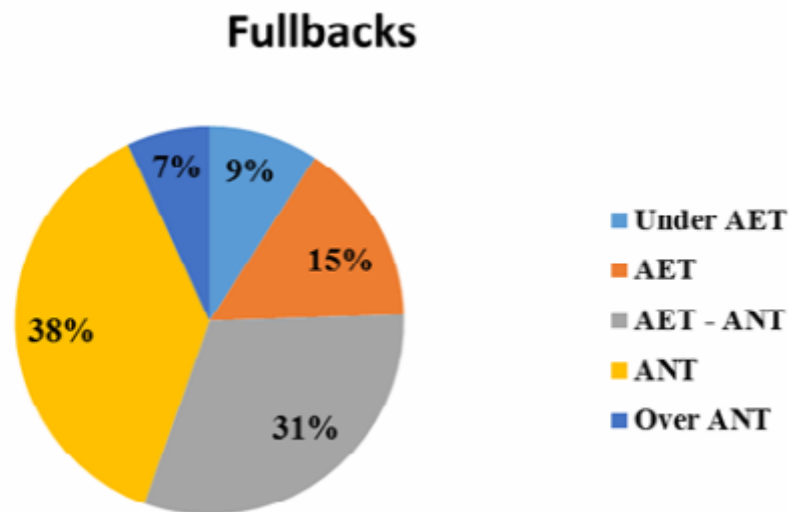
střídající se s intervaly nižší intenzity nebo fyzickým odpočinkem, který má regenerační charakter.

Hoff a Helgerud (2004) uvádí, že individuální technika, taktika a fyzická zdatnost jsou důležitými determinanty při hodnocení rozdílů ve fotbalovém výkonu. Průběh fotbalové hry je proměnlivý a výkon hráče může být ovlivněn několika proměnnými, jako je pozice hráče, kulturní rozdíly, úroveň hry, týmová kvalita, námaha, střídání, úroveň fyzické zdatnosti, věk a období sezóny (Lehnert, Psotta, Chvojka, & De Ste Croix, 2014; Bujnovsky, Maly, Zahalka, & Mala, 2015).

Hráči jsou ve fotbale schopni během zápasu uběhnout 9 – 12 km (Bangsbo, Mohr, & Krusturp, 2006). Jiní autoři (Kirkendall, 2013) uvádí, že průměrná uběhnutá vzdálenost v utkání v profesionálním mužském fotbale se pohybuje mezi 9,5 až 13,5 km. V ženském profesionálním fotbale je to kolem 8 km. u mladších kategorií je průměrná uběhnutá vzdálenost nižší. To je ovlivněno také kratší hrací dobou a pomalejší hrou. Jedna polovina až dvě třetiny uběhnuté vzdálenosti připadají na aerobní zatížení tedy na chůzi a klus. Zbytek tvoří běh ve vyšší anaerobní intenzitě, běh stranou a běh vzad.

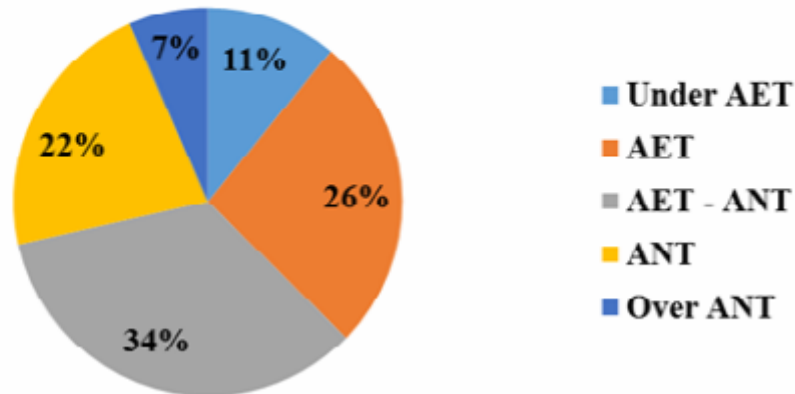
Vysoká intenzita zátěže je zásadním prvkem odlišujícím hráče elitní a nižší úrovně. Profesionální hráči vykonávají 2 až 3 km pohybu ve vyšších intenzitách (>15 km/h) a 0,6 km sprintem (>20 km/h). Zbytek zápasu tvoří aktivity nižší nebo střední intenzity (Iaia, Rampinini, & Bangsbo, 2009). Co se týče fotbalových pozic, tak u profesionálních hráčů střední obránci překonávají menší vzdálenosti a během zápasu provádějí méně intenzivních běhů ve srovnání s hráči na jiných pozicích v poli. Krajiní obránci ve srovnání se středními provádí mnohem více sprintů a jejich celková uběhnutá vzdálenost je prováděna s vysokou intenzitou. Útočníci uběhnou celkovou vzdálenost podobnou intenzitou jako krajiní obránci. Počet sprintů u útočníků je podstatně větší než u záložníků nebo obránců a jejich celková uběhnutá vzdálenost je také menší. Záložníci podstupují během zápasu podobnou fyzickou zátěž jako krajiní obránci a útočníci, celková uběhnutá vzdálenost je však větší a počet sprintů nižší (Bangsbo, Mohr, & Krusturp, 2006). Existují také individuální rozdíly mezi hráči na stejných hráčských pozicích ve stejném týmu (Mohr, Krusturp, & Bangsbo, 2003).

Na Obrázku 1, 2, 3, 4 a 5 je uvedena velikost fyzické zátěže profesionálních hráčů na nejvyšší úrovni v ČR během utkání podle Bujnovsky, Maly, Zahalka a Mala (2015). Výsledky jejich práce poukázaly na rozdíly v zátěži hráčů v závislosti na pozici každého hráče v poli. Střední obránci strávili méně času na úrovni anaerobního prahu ve srovnání se zálohou. Střední záložníci a útočníci vykazovali nejvyšší hodnoty vynaložené nad úroveň anaerobního prahu. Výsledky také odhalily významný vliv zátěže hráče ve vztahu k prvnímu a druhému poločasu, který je pravděpodobně způsoben únavou a postupným vyčerpáním energetických zásob hráče. Výsledky zátěže hráčů jsou základem pro navrhování týmových, skupinových a individuálních tréninkových programů odrážejících požadavky různých pozic v poli. Každá pozice se v poli vyznačuje svým vlastním pohybovým profilem a odlišnými taktickými požadavky.



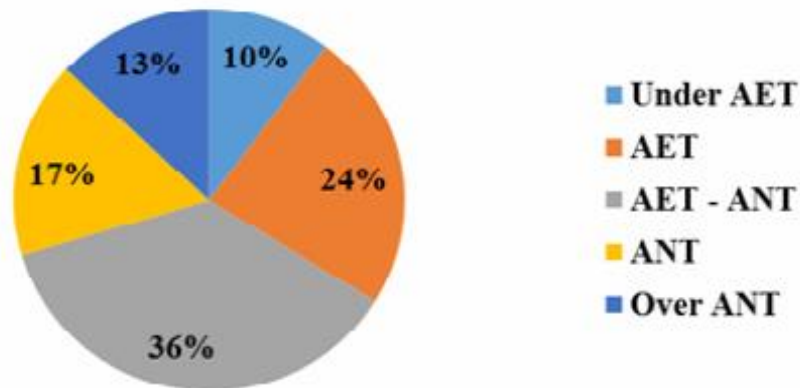
Obrázek 1. Relativní čas strávený v různých zónách zatížení u krajních obránců během utkání. Legenda: Fullbacks – krajní obránci, Under AET - zóna pod aerobním prahem, AET - zóna aerobního prahu, AET – ANT - zóna mezi aerobním a anaerobním prahem, ANT - zóna anaerobního prahu a Over ANT - zóna nad anaerobním prahem (Bujnovsky, Maly, Zahalka, & Mala, 2015).

Central Defenders



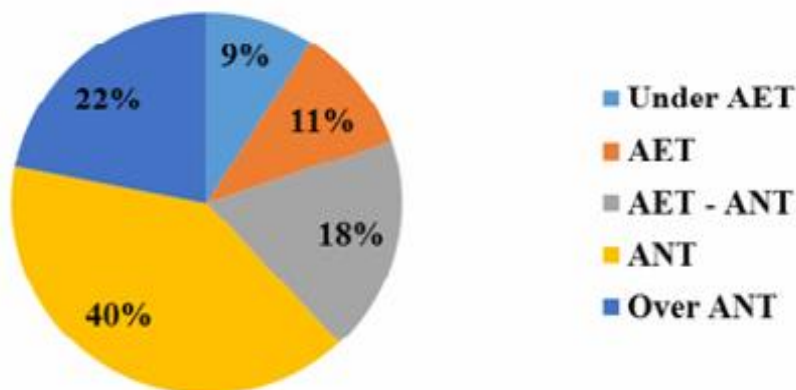
Obrázek 2. Relativní čas strávený v různých zónách zatížení u středních obránců během utkání. Legenda: Central Defenders – střední obránci, Under AET - zóna pod aerobním prahem, AET - zóna aerobního prahu, AET – ANT - zóna mezi aerobním a anaerobním prahem, ANT - zóna anaerobního prahu a Over ANT - zóna nad anaerobním prahem (Bujnovsky, Maly, Zahalka, & Mala, 2015).

Wide Midfielders



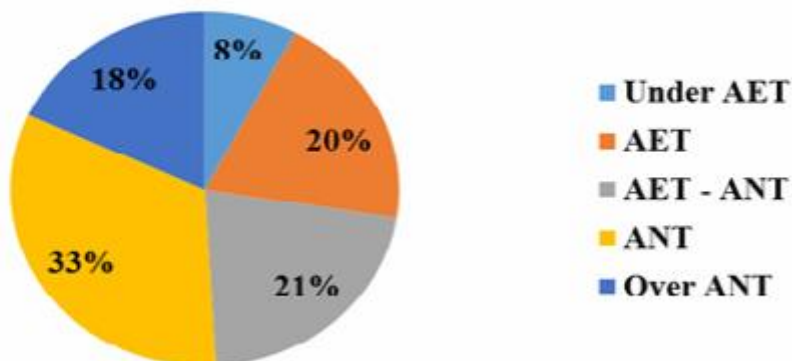
Obrázek 3. Relativní čas strávený v různých zónách zatížení u krajních záložníků během utkání. Legenda: Wide Midfielders – krajní záložníci, Under AET - zóna pod aerobním prahem, AET - zóna aerobního prahu, AET – ANT - zóna mezi aerobním a anaerobním prahem, ANT - zóna anaerobního prahu a Over ANT - zóna nad anaerobním prahem (Bujnovsky, Maly, Zahalka, & Mala, 2015).

Central Midfielders



Obrázek 4. Relativní čas strávený v různých zónách zatížení u středních záložníků během utkání. Legenda: Central Midfielders – střední záložníci, Under AET - zóna pod aerobním prahem, AET - zóna aerobního prahu, AET – ANT - zóna mezi aerobním a anaerobním prahem, ANT - zóna anaerobního prahu a Over ANT - zóna nad anaerobním prahem (Bujnovsky, Maly, Zahalka, & Mala, 2015).

Attackers



Obrázek 5. Relativní čas strávený v různých zónách zatížení u útočníků během utkání. Legenda: Attackers - útočníci, Under AET - zóna pod aerobním prahem, AET - zóna aerobního prahu, AET – ANT - zóna mezi aerobním a anaerobním prahem, ANT - zóna anaerobního prahu a Over ANT - zóna nad anaerobním prahem (Bujnovsky, Maly, Zahalka, & Mala, 2015).

Bujnovsky, Maly, Zahalka a Mala (2015) ve své studii porovnávali míru fyzické zátěže u profesionálních fotbalistů během přípravných utkání a posuzovali rozdíly ve velikosti fyzické zátěže mezi pozicemi na hřišti (krajní obránci, střední obránci, krajní

záložníci, střední záložníci, útočníci). Velikost fyzické zátěže byla hodnocena podle úrovně tepové frekvence a délky zátěže v pěti zónách, které byly nastaveny podle intenzity zátěže. Výsledky ukázaly rozdíly v zatížení hráčů s ohledem na jejich pozice v poli. Nejvyšší nároky na fyzickou zátěž ve vysoké intenzitě (nad anaerobním prahem) byly zjištěny u středních záložníků a útočníků. Naopak největší zastoupení intenzity pod aerobním prahem bylo zjištěno u středních obránců. Kromě toho výsledky ukázaly, že střední záložníci strávili 61,9 % celkového času na nebo nad úrovni anaerobního prahu. Střední obránci trávili většinu času v nejnižší intenzitě. Střední záložníci a útočníci dosáhli z hlediska velikosti efektu výrazného rozdílu v čase stráveném nad úrovní anaerobního prahu. Největší rozdíly mezi prvním a druhým poločasem byly zjištěny u krajních obránců, krajních a středních záložníků, naopak nejnižší u středních obránců a útočníků. Objektivizované výsledky zátěže hráčů jsou základem pro navrhování týmových, skupinových a individuálních tréninkových programů odrážejících požadavky různých pozic v poli.

Další autoři uvádí, že se středoví hráči vyznačují zvýšenou běžeckou aktivitou ve středních a vyšších rychlostech, funkce útočníka klade větší nároky na vykonávání běžeckých sprintů. Počet sprintů vykonaných útočníky za utkání je o 40-45 % vyšší než u středových hráčů a o 15-60 % vyšší než u obránců (Česák, 2011). Vyšší běžecká aktivita hráčů středové řady znamená méně příležitostí pro odpočinek v průběhu utkání. Jejich zotavování tak většinou probíhá v nižších intenzitách jako je například klus. Vyšší nároky utkání pro středové hráče se projevují vyšší tělesnou únavou, což prokazuje poměr naběhaných kilometrů mezi prvním a druhým poločasem, kdy v prvním poločase středoví hráči naběhají podstatně větší vzdálenost. Kromě vyšších funkčních předpokladů pro vytrvalostní výkon mívají středoví hráči relativně dobrou úroveň rychlostních běžeckých schopností. Jejich maximální rychlost ve sprintu bývá podobná (nebo jen o málo nižší) ve srovnání s obránci a útočníky (Psotta et al., 2006).

Jebavý, Hojka a Kaplan, (2017) dodávají, že přibližně 80 – 90 % výkonu probíhá v nízké až střední intenzitě. Ve vysoké intenzitě je realizováno 10 – 20 % zatížení. Fajfer (1990) však upozorňuje na to, že hodnoty jsou odlišné podle hráčských postů. Průměrně se délka sprintů ve fotbale pohybuje od 9 do 27 m a opakují se každých 45 - 90 sekund. Celková vzdálenost překonaná sprintem je u profesionálů 730 - 910 m, rozdělených do 9 - 27 m úseků. Pokud je při běhu veden míč, vzrůstá fyziologické zatížení při všech rychlostech asi o 15 %. Ve fotbalových utkání se tepová frekvence nejčastěji pohybuje

mezi 150 až 170 tepy za minutu s občasným výskytem hodnot nad 180 tepů za minutu. Většina hráčů využívá 75 - 80 % své kapacity, proto je fotbal, dle standardní interpretace, považován za aerobní sport (Kirkendall, 2013).

Bloomfield et al. (2007) prezentovali výsledky své studie, ve které se zabývali četností jednotlivých činností hráčů v Premier League. Uvádí v ní, že bránící hráči méně sprintují než hráči na ostatních postech, ale mají mnohem více výskoků. Obránci také tráví podstatně více času při pohybu vzad. Záložníci naběhají nejdlejší vzdálenost, ale pohybují se menší intenzitou než útočníci a obránci, proto budou záložníci pravděpodobně lehčí a štíhlejší než hráči z útoku nebo z obrany. Útočníci často mění směr pohybu, svádějí mnoho soubojů ve vysoké rychlosti, při kterých někdy musí přetlačit obránce. Z toho důvodu by útočníci měli být více rychlostně a silově vybavení než záložníci.

2.1.2.3 Somatotyp

Grasgruber a Cacek (2008) ve své knize popisují, že profesionální fotbalisté mohou být vyššího i nižšího vzrůstu. Hráči nižšího vzrůstu obvykle lépe ovládají míč a jsou tak stavěni na více technické pozice, například středový záložník. Hráči vyššího vzrůstu mají výhody ve vzdušných soubojích o míč a jsou spíše stavěni na posty obránců, útočníků nebo brankářů. Většina fotbalistů je průměrného nebo lehce nadprůměrného vzrůstu se somatotypem ektomorfního mezomorfa.

Studie Hazira (2010), která srovnávala fyziologické charakteristiky a somatotyp hráčů zjistila významnou odlišnost mezi hráči v Super League (SL) a First League (FL) na všech herních pozicích. Všichni účastníci studie byli profesionální fotbalisté z Turecké SL a FL. Data byla seskupena podle herní pozice a herní úrovně. Fyziologické charakteristiky a somatotypy fotbalistů byli odlišné ve vztahu k jejich herní pozici a úrovni. Somatotyp hráčů na vyšší úrovni byl více mezomorfní charakteristiky a méně endomorfní a ektomorfní než u hráčů na nižší úrovni. Tyto výsledky byly potvrzeny na všech herních pozicích.

K porovnání antropometrického profilu a výkonu fyzické zdatnosti podle herního postavení u žen byl testován národní tým Chile ve studii Villaseca-Vicuña, Molina-Sotomayor, Zabaloy a Gonzalez-Jurado, (2021). Brankářky se liší od ostatních hráček jak v antropometrických, tak i v proměnných fyzické zdatnosti. Brankářky mají větší výšku a váhu, i když mezi hracími pozicemi nejsou žádné rozdíly v % svalů. Hráčky v poli (obránce, záložník a útočník) mezi sebou nevykazovaly žádné významné rozdíly v žádné

z pozorovaných antropometrických proměnných. Výrazně horší výkonnostní výsledky měly brankářky ve srovnání s ostatními hráčkami v rychlosti běhu, agility a aerobní síle. Post útočníka u žen vykazoval nejlepší výkony v testech rychlosti běhu. v ženském národním týmu Chile se prokázalo, že lepší výsledky v proměnných složení těla (větší zastoupení svalové hmoty a nižší zastoupení tukové tkáně) jsou spojeny s lepšími výsledky v ukazatelích fyzické zdatnosti, jako je relativní síla. Naopak větší podíl tukové tkáně, váhy a kožní řasy mají negativní vliv na výkon v odhadovaném VO_2max . Výsledky relativní síly hráček ukázaly silnou korelaci s jejich výkonem v testech výbušných akcí.

Z výše uvedených informací je jasné, že na výkon ve fotbale má vliv mnoho proměnných. Pokud chceme kvalitní dospělé fotbalisty a fotbalistky, je nutné dbát na správné přípravě mládeže. Jak uvádí Fajfer (2005), k tomu, abychom připravili mladé hráče na vrcholový individuální výkon, musíme brát ohled na všechny faktory sportovního výkonu. Vývoj mladého fotbalisty od začátku až po vrcholovou výkonnost lze rozdělit do několika etap, které mají různé cíle, obsah a metody. Opomenutí některých faktorů sportovního výkonu v tomto vývoji může snížit výkonnost mladého hráče, nebo ji zcela zastavit.

2.2 Charakteristika staršího a mladšího žactva

Ve fotbale starší a mladší žáci věkově odpovídají žákům druhého stupně základní školy. To je období, které je příznivé pro rychlostně silová cvičení. Později podmínky dovolují ve větší míře stimulaci vytrvalostních, rychlostních a silových schopností. Zpomaluje se rozvoj kloubní pohyblivosti (Dovalil et al., 2009).

Mazzantini a Bombardieri (2013) popisují specifika hráčů ve věku 12 až 15 let, což je velmi důležité období psychického a fyzického růstu hráčů. v tomto věku je důležité začít pracovat na rozvoji taktického myšlení, které se v tomto období rozvíjí. Cílem každého tréninku je rozvinout technický aspekt prostřednictvím úvodní zahřívací hry nebo technické činnosti. Motorický a fyzický aspekt lze rozvinout prostřednictvím koordinační aktivity a individuální taktický aspekt prostřednictvím herní situace nebo specifických her.

Testování hráči zasahují věkem do kategorií mladších a starších žáků (Obrázek 6).

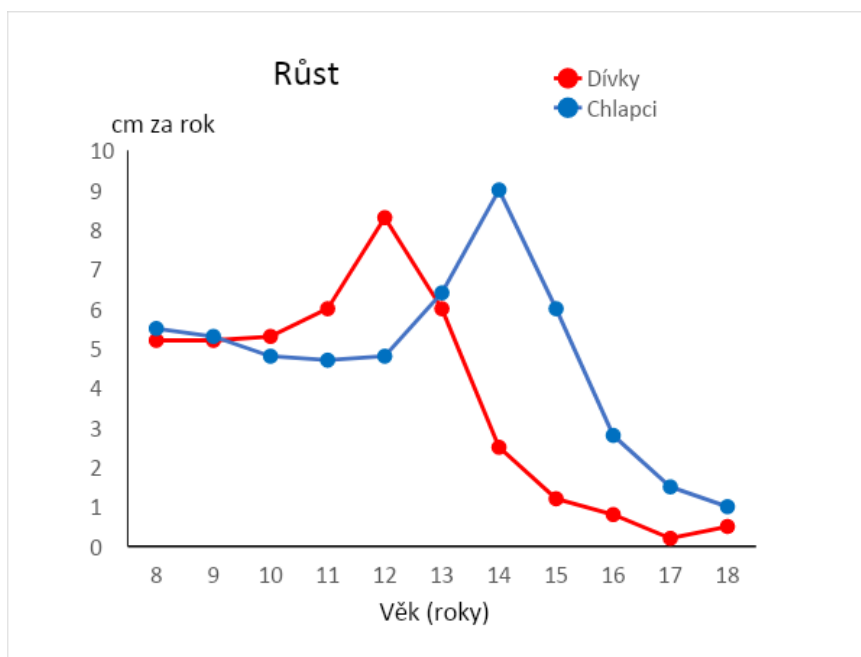
	Kategorie mládeže	Věkové kategorie	Základní věk	Dovršený věk
Přípravky	Kategorie mladší přípravka	U6	5 let	6 let
		U7	6 let	7 let
		U8	7 let	8 let
		U9	8 let	9 let
	Kategorie starší přípravka	U10	9 let	10 let
		U11	10 let	11 let
Žáci	Kategorie mladší žáci	U12	11 let	12 let
		U13	12 let	13 let
	Kategorie starší žáci	U14	13 let	14 let
		U15	14 let	15 let
Dorost	Kategorie mladší dorost	U16	15 let	16 let
		U17	16 let	17 let
	Kategorie starší dorost	U18	17 let	18 let
		U19	18 let	19 let

Obrázek 6. Věkové kategorie mládeže (Kureš et al., 2020).

2.2.1 Fyzický vývoj

Děti se vyvíjejí fyzicky, psychicky i sociálně. Schopnost dítěte hrát fotbal ovlivňuje fyzická kapacita, psychický vývoj a sociální zkušenosti. Každé dítě se vyvíjí individuálně v závislosti na svém biologickém genetickém potenciálu, biologickém zrání a životním prostředí. Bangsbo (2007) dále upozorňuje, že děti nejsou malí dospělí a rozhodně by neměly být trénovány stejným způsobem jako dospělí jedinci. Je důležité, aby trenér tohoto věkového období pochopil proces zrání těla, kterým hráči procházejí (Mazzantini & Bombardieri, 2013).

Chlapcům i dívkám se může před pubertou zvýšit tělesná výška o 4 - 8 cm za rok. Během období puberty se rychlost růstu významně zvýší až na 8 - 15 cm za rok (Obrázek 7). Doba trvání růstového spurtu je kolísavá, ale ve většině případů trvá 1 - 2 roky, pak se růst tělesné výšky snižuje. Růst se může zastavit ve věku kolem 16 až 18 let. v období růstu může mít dítě potíže s koordinací pohybů, protože změny v tělesných rozměrech jsou velké. Je běžné, že děti mají problémy i s jednoduchými úkoly, které dříve dokázaly udělat. Chlapci mají výraznější potíže než dívky, protože jejich růst je větší (Bangsbo, 2007).



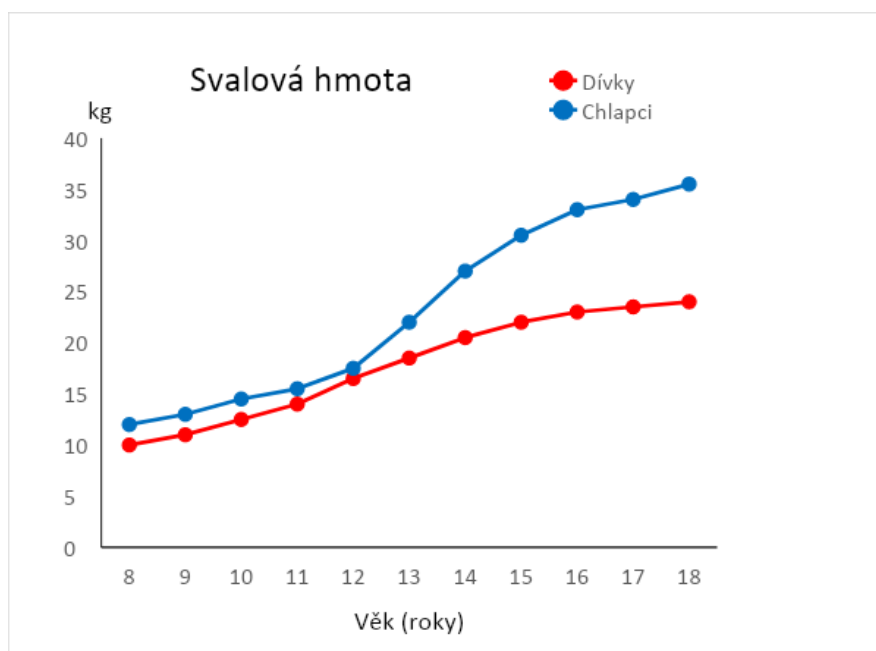
Obrázek 7. Tělesná výška v průběhu růstu (Bangsbo, 2007).

2.2.1.1 Kostra

Dětské kosti jsou měkčí než kosti dospělých. Kostra dětí obsahuje více chrupavek a je pružnější. To znamená, že jsou děti pružnější a jsou méně náchylné k akutním zraněním, ke kterým nejčastěji dochází při pádu. Jsou, ale náchylnější k chronickému zranění v důsledku chybného, jednostranného nebo příliš velkého fyzického zatížení. Teprve ve věku 20 let lze očekávat, že kostra bude plně rozvinuta (Bangsbo, 2007).

2.2.1.2 Svalová hmota

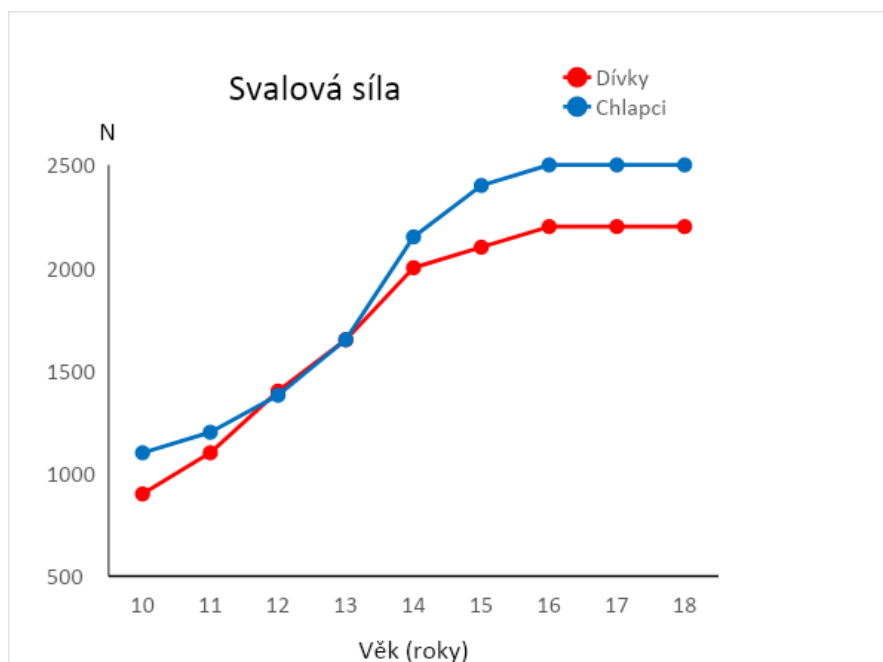
Hmotnost svalů v těle se postupně zvyšuje s věkem (Obrázek 8). Až do puberty je vývoj svalové hmoty u dívek i chlapců podobný. Během puberty u chlapců dochází ke zvýšení hormonu testosteron, což vede k výraznému růstu svalů. Podíl svalové hmoty ve vztahu ke zvýšení tělesné hmotnosti u chlapců po pohlavním zrání, dosahuje přibližně 40 % dospělého člověka. Hmotnost svalů je u chlapců přibližně zdvojnásobena od věku 10 let do věku 17 let (Bangsbo, 2007).



Obrázek 8. Nárůst svalové hmoty v průběhu růstu a zrání (Bangsbo, 2007).

2.2.1.3 Svalová síla

Síla vznikající při maximálním pohybu úzce souvisí s objemem svalů, které tvoří pohybový aparát člověka. Rozvoj svalové hmoty se zvyšuje s růstem dětí (Obrázek 9). Do puberty je vývoj svalové síly dolních končetin podobný pro dívky i chlapce (Bangsbo, 2007).



Obrázek 9. Nárůst svalové síly v průběhu růstu a zrání (Bangsbo, 2007).

Williams, Wood a De Ste Croix, 2013) potvrzují, že u chlapců ve srovnání s dívkami dochází k podstatnému nárůstu svalové hmoty. Větší podíl svalové hmoty spolu s nižším zastoupením tělesného tuku se považují za důležitou výhodu pro sportovní výkon chlapců. Zapojení většího množství svalové hmoty obecně zvýší výkon, zatímco vyšší obsah tukové hmoty, který se častěji vyskytuje u dívek, snižuje mechanickou účinnost i výkon během aktivit (např. běhu). (Lehnert et al., 2019) upozorňuje, že existuje jen málo empirický výzkumů kvantifikace růstu ve vztahu ke koordinaci a sportovnímu výkonu napříč věkem a mezi pohlavími. Mladí sportovci, kteří jsou biologicky vyspělí na svůj chronologický věk, jsou v průměru vyšší, těžší a mají vyšší poměr hmotnosti k výšce než později zralí sportovci stejného chronologického věku. Předčasně dospívající chlapci získávají výhody v širších ramenou a vyšší svalové hmotě horní části těla. Tyto tělesné změny jsou spojeny s větší silou a výkonem, což se také projevuje zvýšením aerobní síly a poskytuje tak další benefity v jejich sportovním výkonu.

2.2.1.4 Růst a zrání

Tyto dva termíny jsou spolu provázány, jsou harmonizovány v různých časových měřítkách a jsou pravděpodobně řízeny samostatnou biologickou regulací (Armstrong & Welsman, 1997). Termín „vývoj“ se také používá ve vztahu k růstu a zrání. Mimo jiné se také týká obsáhlejších pojmů, které zahrnují behaviorální, psychologické i biologické oblasti. Děti jsou často řazeny do chronologických věkových skupin, ale je dobře známo, že chronologický věk je špatným ukazatelem biologické zralosti.

Růst je cyklický proces, kde jsou tkáně a orgány v neustálém procesu. Jednotlivé segmenty těla nerostou stejnou rychlostí, proto se v průběhu životního cyklu mění relativní velikost a tvar. To má za následek specifické ovládnání motoriky. Nejběžnější měření jsou měření růstu (postavy) a tělesné hmotnosti. Změny ve složení těla (tukuprostá hmota, svalová tkáň, procento tělesného tuku) poskytují výzkumníkům smysluplnější údaje než pouze tělesná hmotnost (Lehnert et al., 2019).

Zrání se týká tempa a načasování postupu směrem k vyspělosti. Doba puberty zahrnuje všechny fyziologické a morfologické změny, které vedou k rozvoji strukturních a funkčních charakteristik dospělých. Zrání je obtížně definovatelný pojem a techniky hodnocení zrání se liší v závislosti na biologickém systému, který má být hodnocen. Běžně používané techniky pro určení zrání patří hodnocení sekundárních pohlavních znaků, věku odpovídající maximálnímu růstu do výšky, zrání kostry a měření cirkulujících hormonů (Bielicki, Koniarek, & Malina, 1984). Hodnocení sekundárních

pohlavních charakteristik zahrnuje vyšetření vývoje genitálií a ochlupení (Tanner, 1962). Během puberty zažívá většina jedinců růstový spurt. Věk, ve kterém je růstový spurt nejméně výraznější, může být použit jako ukazatel dospívání. Mirwald, Baxter-Jones, Bailey a Beunen (2002) uvádí, že zkoumání vývoje svalů u dětí, které se liší ve fázích růstu a zrání, pomáhá porozumět věkovým a pohlavním rozdílům v síle a motorických dovednostech. Tělesná hmotnost navíc představuje zátěž, kterou musí podporovat svalové skupiny dolních končetin, proto poskytuje stimul pro rozvoj svalů.

Důsledky růstu a zrání, které mohou ovlivnit zranění i výkonnost

Fialka, Bockhorn, Weinstabl a Bachl (2001) zkoumali muskuloskeletální obtíže a svalovou nerovnováhu u dětí v období růstového spurtu. Testovali 27 špičkových tenistů (8–15 let). Po kontrolách pohybového aparátu, které byly prováděny každých šest měsíců po dobu dvou let, byly na začátku studie pouze tři děti bez jakýchkoli muskuloskeletálních poruch. u sedmi dětí byly patologické nálezy připisovány nedostatečné svalové adaptaci. s ohledem na riziko zranění a výkonu se také ukázalo, že rychlý a asynchronní růst muskuloskeletálního systému ovlivňuje nervosvalovou kontrolu. Mnoho systémů, které přispívají k dynamické i statické stabilitě (somatosenzorické a vestibulární smysly, motorický systém, kosterní a kloubní aparát) se během puberty mění (Assaiante, Mallau, Viel, Jover, & Schmitz, 2005).

Z pohledu sportovního výkonu představuje rychlý růst kostry a souvisejících svalů velkou výzvu pro mladé sportovce, kteří se musí naučit pohybovat a ovládat své delší končetiny a těžší tělo. Změny momentu setrvačnosti s růstem ovlivňují množství svalové síly potřebné k otočení končetiny (Chester & Jensen, 2005; Van Dam, Hallemans, & Aerts, 2009).

Bylo také zjištěno, že silový výkon a rozsah pohybu ovlivňují posturální stabilitu u dětí, což ovlivňuje riziko zranění i výkon (Westcott, Lowes, & Richardson, 1997).

Růstový spurt má za následek buď okamžité zhoršení koordinace nebo opožděné, které však může být výraznější a trvat déle, a to zejména u úkolů vyžadujících rytmus a jemnou i hrubou motoriku (Hirtz & Starosta, 2002). Espenschade (1947) zkoumal koordinaci hrubé motoriky u 610 chlapců a dívek. v testech bylo zaznamenáno u dospívajících zaznamenáno zhoršení výkonu u úloh, které vyžadují dynamickou rovnováhu. Hewett, Myer a Ford (2004) pozorovali významný pokles neuromuskulární kontroly svalů ovládajících koleno od začátku puberty až do pozdní puberty, což může souviset právě se zhoršenou koordinací po růstovém spurtu adolescentů.

Je důležité, aby trenéři, učitelé a rodiče věděli, kdy dítě prochází nebo prošlo růstovým spurtem. Děti by měly dostat příležitost přizpůsobit se svému novému tvaru a velikosti těla. To vyžaduje, aby děti zvládly nová řešení pro dané pohybové úlohy, což souvisí s přizpůsobením jejich nervového a svalového systému (McLester & St. Pierre, 2008).

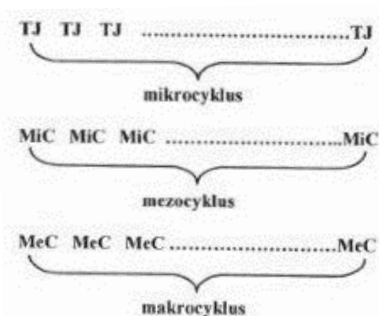
2.3 Sportovní trénink

Sportovní trénink je proces rozvoje výkonnosti sportovce nebo družstva, zaměřený na dosahování relativně nejvyšších sportovních výkonů ve vybraném sportu. Z hlediska pedagogického je to výchovně vzdělávací proces, jehož vzdělávací stránka je dána poznáváním, osvojováním vědomostí i dovedností a rozvojem pohybových schopností (Fajfer, 2005).

Na trénink lze pohlížet z mnoha úhlů. Společným bodem je spojení s procesem cvičení, osvojování a zdokonalování vybraných pohybových činností. Trénink je relativně složitý a účelně organizovaný proces. Trénink musí současně respektovat celkový rozvoj jedince. Cílem tréninku je dosažení relativně nejvyšší výkonnosti ve zvoleném sportovním odvětví na základě všestranného rozvoje sportovce. Usiluje se zde také o rozvoj výchovný například dodržováním fair play (Perič & Dovalil, 2010).

2.3.1 Roční tréninkový cyklus

Cyklus je ve sportu časový úsek, které má daný začátek a konec. Tvoří ho různě dlouhé úseky tréninkového procesu. Rozlišují se převážně mikrocykly, mezocykly a makrocykly. Tréninkové jednotky v opakujícím se schématu se nazývají mikrocyklus (nebo také krátkodobý, vícedenní tréninkový cyklus). Několik mikrocyklů naplňuje mezocyklus (nebo střednědobý, vícetýdenní cyklus). Střídání a opakování mezocyklů podle principů stavby tréninku v delším časovém úseku, bývá označován jako makrocyklus (Obrázek 10), který trvá několik měsíců až let (Perič, 2010).



Obrázek 10. Schéma tréninkových cyklů (Dovalil et al., 2009).

Issurin (2010) popisuje roční tréninkový cyklus jako nejběžnější makrocycklus. Považuje se za základní jednotku dlouhodobě organizované sportovní činnosti. Je sestaven tak, aby maximální výkonnost sportovce kulminovala (vyvrcholila) v požadovaném čase. Požadavky na trénink se během roku mění. Tomu odpovídá standardní periodizace, rozlišující přípravné, předzávodní, závodní (také může být nazýváno hlavní nebo soutěžní) a přechodné období (Tabulka 1), tato období mohou být různě dlouhá a tvoří je různý počet mezocyklů (Dovalil et al., 2009).

Tabulka 1

Periodizace ročního tréninkového cyklu (Dovalil et al., 2009)

Období	Hlavní úkol období
Přípravné	Rozvoj trénovanosti
Předzávodní	Vyladění sportovní formy
Závodní	Prokázání a udržení vysoké výkonnosti
Přechodné	Dokonalé zotavení

Přípravné období tvoří základy našeho výkonu, kde zajistíme vhodné předpoklady pro růst výkonnosti. Hlavním úkolem pro toto období je zvýšení trénovanosti. Toto období můžeme považovat za nejdůležitější v ročním cyklu. Uvedený úkol nelze v plném rozsahu zajistit jindy, protože se cíle a úkoly v dalších období liší. Zkušenosti sportovců a trenérů navíc naznačují, že podcenění tréninku v přípravném období nebo jeho zkrácení má většinou za následek stagnaci výkonnosti. Trénování v přípravném období se principy především týká velikosti zatížení, výběru cvičení, jejich rozložení a posloupnosti v čase i celkového přístupu (Issurin, 2010).

Předzávodní období bývá obvykle dlouhé 2 – 4 týdny. Předchází prvním startům v mistrovských soutěžích. V ročním tréninkovém cyklu má za úkol dosáhnout vysoké sportovní formy. Ladění sportovní formy (nazývané jako vyladovací trénink) plynule navazuje na předchozí trénink v přípravném období (Issurin, 2010).

Perič (2009) popisuje sportovní formu jako optimální stav specializované připravenosti sportovce či družstva, při němž je dosahováno maximální úrovně sportovních výkonů, odpovídajících aktuálnímu stavu trénovanosti. Hlavním ukazatelem a kritériem jsou samotné sportovní výkony v reálných podmínkách soutěží. Sportovní

forma je dána hlavně sladěním všech faktorů výkonu, jejich provázaností a výbornou koordinací s důrazem na psychiku.

Mezi hlavní tréninkové zásady ladění sportovní formy patří (Dovalil et al., 2009):

- snížení objemu zatížení při současném udržení jeho vysoké intenzity,
- důraz na kvalitu tréninkové činnosti,
- dostatek odpočinku,
- důsledné využití speciálních cvičení,
- využívání přípravných startů jako tréninkového prostředku,
- zdůraznění psychologické přípravy.

Vyladovací trénink může probíhat do značné míry individuálně a má respektovat individuální potřeby (Dovalil et al., 2009).

V závodním období se vyskytují soutěže. Hlavním cílem je zhodnotit předchozí přípravu a prokázat nejvyšší výkonnost. Účast v soutěžích a komplexní sportovní činnost se stává měřítkem úspěšnosti talentu i tréninku. Další motivací pro sportovce jsou úspěchy ve sportu. Soutěže se řadí mezi náročné situace, neboť se odehrávají v prostředí kvalitativně odlišném od tréninku, ve kterém na sportovce působí různé vlivy jako jsou diváci, počasí, význam soutěže apod. Úkolem tréninku v závodním období je vytváření podmínek pro udržení, případně opakovaně vyladění sportovní formy (Issurin, 2010).

Dále Issurin (2010) uvádí, že se v tomto období snižuje objem tréninkového zatížení, ale udržuje se jeho intenzita. Celková velikost zatížení je závislá na soutěžních startech a jejich úrovni. Principy stavby tréninku a struktury ročního cyklu lze bez obtíží realizovat u mládeže a ve výkonnostním sportu. U školní mládeže se musí také přihlížet k režimu školního roku. Prázdniny mohou být využity k tréninkovým táborem, soustředěním nebo individuálním úkolům. Zvýšené nároky v závěru školního roku mohou mít na trénink výrazný vliv (Dovalil et al., 2009).

V přechodném období je zatížení střídáno delšími fázemi odpočinku. Dochází zde k zotavení organismu a doléčení všech zranění. To platí nejen pro elementární cyklus sekvence tréninkových jednotek, ale i pro roční tréninkový cyklus. Při jednoduchém organizování ročního tréninkového cyklu trvá toto období obvykle 3 – 6 týdnů, při vícenásobné periodizaci bývají období kratší. Obsahem zde může být několik regeneračních mikrocyklů (Issurin, 2010).

Perič (2010) a Dovalil et al. (2009) potvrzují, že přechodné období má především za úkol snížit nahromaděnou únavu, která vyplývá z výkonnostních požadavků soutěže. Hlavní pozornost je věnována co nejdůkladnějšímu zotavení. Podstatou je snížení velikosti zatížení.

Na přechodné období plynule navazuje úvodní mikrocyklus nového přípravného období.

Ve fotbale je hlavním cílem během soutěžních tréninkových mikrocyklů zajistit hráčům optimální připravenost na další soutěžní utkání (Issurin, 2010). Zejména u mladých hráčů je důležité systematicky rozvíjet jejich schopnosti a dovednosti. Tento rozvoj podpoříme vhodnou mírou tréninkové zátěže. Příliš velká zátěž může vést ke snížení optimální připravenosti na výkon a potenciálně zvýšit riziko zranění (Morris et al., 2018).

2.4 Zatížení

Přiměřený podmět vyvolává v organismu reakci, která určitým způsobem narušuje homeostázu vnitřního prostředí a v tomto důsledku za určitých podmínek lze u jedince očekávat řadu nejrůznějších změn. Cílené vytváření a využívání těchto podnětů tak, aby ovlivňovaly formování sportovního výkonu, patří k podstatě tréninku. Podněty tohoto typu jsou v terminologii sportovního tréninku označovány jako zatížení a mají podobu pohybové činnosti. Nejedná se o jakoukoli pohybovou činnost, ale o činnost účelově uspořádanou. Zde se řeší pohybové úkoly různého druhu s nároky na tělesnou námahu i psychiku sportovce. V tomto případě se jedná o tréninková cvičení. Cvičení je specifické svým pohybovým obsahem, dobou trvání a stupněm úsilí (Perič & Dovalil, 2010).

Objem zatížení je kvantitativním ukazatelem, které vypovídá o množství tréninkové činnosti. Je dán dobou nebo množstvím opakování. Intenzita zatížení charakterizuje velikost úsilí, se kterým sportovec provádí daný pohybový úkol. Vynaložené úsilí při pohybové činnosti může být různé, od nízké úrovně až po úsilí hraniční (Perič, 2010).

Vztah mezi objemem a intenzitou zatížení má podobu nepřímé úměrnosti. Vysoká intenzita umožňuje malý objem a nízká intenzita umožňuje větší objem. Takže pokud chceme při cvičení pracovat vysokou intenzitou, lze to činit jen ve velmi malém objemu a krátkodobě. Naopak pokud má cvičení trvat déle, nutně musí být jeho intenzita nižší.

Fyziologicky není možné, aby sportovec prováděl cvičení vysokou intenzitou po delší dobu (Perič & Dovalil, 2010).

2.5 Únava

Perič a Dovalil (2010) uvádí, že každé soutěžní i tréninkové zatížení vyvolá únavu. Nejčastěji je projevena snížením výkonnosti. Rozlišuje se únava tělesná, duševní, celková a místní. Při únavě periférií se objevují změny ve svalech např. vyčerpání energetických rezerv, pokles vody a elektrolytů a zvýšená koncentrace laktátu. Únava centrální se projevuje jako snížená funkce CNS.

Únava může změnit aktivaci svalu, která je důležitá pro sportovní výkon a prevenci zranění, protože ovlivňuje svalovou reakci na náhlé pohyby. Změny svalové aktivity narušují soudržnost kloubů a zhoršují výkon změnou doby přenosu svalového napětí (Winter, 2009). Únava také negativně ovlivňuje účinnost neuromuskulární zpětné vazby, kterou lze hodnotit prostřednictvím elektromechanického zpoždění (EMD) (Small, McNaughton, Greig, & Lovell, 2010). EMD je definováno jako doba mezi začátkem svalové aktivity a začátkem produkce síly svalové kontrakce (De Ste Croix, ElNagar, Iga, James, & Ayala, 2015) nebo jako časový interval mezi stimulací alfa motoneuronu a prvním záznamem pohybu, který je vyvolán v určitém kloubu (Georgoulis et al., 2005). EMD může být ve svalech důležité pro stabilizaci kolenního kloubu a stanovení účinných strategií zpětné vazby, které mění svalovou aktivaci v reakci na situace, které zatěžují přední zkřížený vaz (De Ste Croix et al., 2015). Delší reakční doba hamstringů může negativně ovlivnit schopnost svalů rychle stabilizovat kolenní kloub, proto se může zvýšit riziko zranění. Výsledky studií prokázaly rozdíly v EMD mezi muži a ženami, kde s delší EMD bylo u žen (Blackburn, Bell, Norcross, Hudson, & Engstrom, 2009). Z hlediska věku byla pozorována významně delší EMD u dětí ve srovnání s dospělými (Cohen et al., 2010).

Nédélec et al., (2012) zkoumali změny u plyometrických skoků - counter movement jump (CMJ), výkonu ve sprintu a excentrické síle hamstringů. Měření provedli 24 a 48 hodin po simulovaném fotbalovém utkání u profesionálních hráčů fotbalu. Výkon CMJ se v průběhu času nezměnil, i když došlo k významnému snížení excentrické síly hamstringů, které bylo stále patrné 48 hodin po simulovaném zápase. Tato data jsou podpořena prací Ispirlidise et al. (2008), kteří zkoumali řadu výkonnostních markerů až 6 dní po soutěžním zápase u profesionálních fotbalistů. Uvádějí, že anaerobní výkon je zhoršen až 72 hodin po odehrání utkání, ale vrátí se na výchozí úroveň po 94 hodinách.

Hamilton (2009) zkoumal změny v CMJ u mladých fotbalistů po 6 turnajových utkání a nenalezl žádnou významnou změnu v hodnoceném časovém období.

Vliv únavy u mládeže

Dostupné údaje naznačují, že děti se unavují pomaleji než dospělí během jednoho nebo opakovaného cvičení s vysokou intenzitou (De Ste Croix, Deighan, Ratel, & Armstrong, 2009). Schopnost dětí udržet silový výkon během vysoce intenzivního cvičení může souviset s nižší úrovní únavy. Howatson (2010) zkoumal účinky excentrické únavy a poškození svalů na biceps brachii u dospělých mužů a uvedl významně vyšší EMD až 96 hodin po cvičení. Toto zjištění naznačuje, že je třeba postupovat opatrně, pokud je po tomto typu cvičení zapotřebí úkol vyžadující rychlou reakci nebo rychlé generování maximálního úsilí.

Zhou, McKenna, Lawson, Morrison a Fairweather (1996) uvádí, že po intenzivním cvičení je koleno předurčeno k většímu riziku zranění. Mechanismy zapojené do zvýšení EMD po únavě mohou být způsobeny zhoršením vodivých, kontraktlních nebo elastických vlastností svalu. (Lehnert et al., 2019) upozorňují, že především možnosti vlivu únavy u dětí vyžadují další zkoumání. Tyto údaje jsou potřebné k objasnění relativního rizika bezkontaktního poranění kolene v dětství, kdy je dítě ve stavu únavy.

2.6 Zotavení a regenerace

Po každém zatížení ve sportovním tréninku musí následovat zotavení, které směřuje k obnově homeostázy. To je jedna z hlavních podmínek efektu zatížení a zvyšování trénovanosti a výkonnosti. Jak je už v této práci uvedeno, zatížení je u člověka provázeno řadou změn. Právě ty musejí být po skončení cvičení kompenzovány: např. návrat fyziologických funkcí do klidové úrovně (pokles srdeční frekvence, krevního tlaku apod.), doplnění vyčerpaných energetických zdrojů (např. glykogenu), odbourání negativních zplodin metabolismu (laktát, močovina apod.), odstranění psychické únavy. Zotavení je tedy nepostradatelnou součástí tréninku. Každé zotavení neprobíhá v čase stejně, navíc u každého člověka trvá různou dobu. Fyziologické a biomechanické funkce organismu mají různou rychlost obnovy. Poměrně rychle se navrácí do výchozích hodnot srdeční frekvence či tlak krve. Delší dobu potom trvá odbourávání metabolitů. Například odbourání laktátu obvykle trvá hodiny až dny. Dochází dále k obnovení rezerv glykogenu, doplnění vitamínů nebo obnova enzymů (Perič & Dovalil, 2010).

Odstraňování únavy při zotavení je nejčastěji prováděno odpočinkem a dostatečným spánkem. Tyto činnosti jsou obecně nazývány jako pasivní odpočinek či zotavení. U vrcholových sportovců však často přestává stačit rychlost zotavení prováděné pasivním odpočinkem, proto se přistupuje k urychlení zotavných procesů. Sportovci pak mohou více trénovat. Uvádí se navýšení až o 15 - 30 % tréninkového objemu. Prostředky a postupy, které zrychlují zotavné procesy, bývají označovány jako regenerace (Perič & Dovalil, 2010). Regenerace ve sportu zahrnuje veškeré činnosti, které mají zrychlit a zefektivnit zotavení. Pozornost věnovaná regeneraci se nepochybně odráží v možnostech tréninku a následné výkonnosti. Úspěšní sportovci se regeneraci věnují mnohem více a systematictěji. To má také vliv na jejich zdravotním stav a výsledkem je nižší počet dnů neschopnosti a nemoci (Dovalil et al., 2009).

Martinková (2013) popisuje, že podcenění regeneračních procesů vede k poruchám pohybového aparátu a výsledkem může být jeho chronické poškození. Nedostatečná regenerace, má za následek přetrénování a pokles sportovní výkonnosti. Samotný strečink po zátěži zmírňuje svalové napětí a omezuje rozvoj svalových dysbalancí. Ten je také označován jako aktivní regenerace. Pohybová aktivita s nízkou intenzitou (např. vyklusání) po tréninku nebo utkání urychluje odplavení nahromaděných metabolitů.

Většina studií zkoumala změny po poškození svalů vyvolané tréninkem nebo přátelským utkáním, kde se většina hráčů nedostane na zápasovou úroveň (Andersson et al., 2008). Také Lehnert et al. (2019) uvádějí, že jen málo studií zkoumalo účinky soutěžního utkání na snížení neuromuskulární schopnosti a následné zotavení. Potenciální příznaky poškození svalů způsobené cvičením by neměly být opomíjeny zejména z hlediska rizika zranění. Relativní riziko zranění se zvyšuje se sníženým rozsahem pohybu kloubů, sníženou svalovou silou a oslabenou neuromuskulární funkcí.

Pasivní svalová ztuhlost byla uváděna jako faktor svalového poškození, přičemž poddajnější sval má nižší úroveň poškození. Vzhledem k tomu, že u mladších jedinců se svaly rychleji přizpůsobují dané zátěži (Lloyd, Oliver, Hughes, & Williams, 2011), je pravděpodobné, že poškození svalů je u mladých sportovců menší než u dospělých.

Kotzamanidou et al. (2005) zkoumali rozdíly v neuromuskulární regeneraci mezi prepubertálními a dospělými muži po maximální izokinetické únavě. Obnova maximálního výkonu byla významně rychlejší u dětí ve srovnání s dospělými. Autoři připisují rozdíl v zotavení rychlejšímu odstraňování vedlejších produktů metabolismu a rychlejší resyntéze ATP.

Hamilton (2009) použil test seskoku ke stanovení reaktivní síly (RSI) u elitních mladých fotbalistů. Testování proběhlo po dobu 6 dnů během čtyřdenního simulovaného turnaje. Při analýze dat nebyl pozorován žádný významný pokles RSI, ale hráči, kteří dokončili celý zápas, měli výrazné snížení RSI u utkání 2, 3 a 4. To naznačuje, že u hráčů s větší únavou z důvodu delší hrací doby byla narušena neuromuskulární funkce a byly evidentní kumulativní účinky únavy hráče. Pokles je připsán snížené schopnosti SSC, způsobené změnou neurálního pohonu proprioceptivní zpětnou vazbou z aferentních signalizátorů během svalového natažení a zkrácení. Díky tomu se mění dráždivost a výkon svalových vřetének.

Andersson et al. (2008) zkoumali neuromuskulární zotavení a uvedli významné akutní účinky únavy na neurosvalový výkon. Dále zaznamenali změny v časovém průběhu u řady výsledných proměnných v závislosti na aktivních nebo pasivních technikách zotavení. Výkon ve sprintu byl prvním měřítkem, které se vrátilo k výchozím hodnotám 5 hodin po utkání. Následovala izokinetická extenze kolene, která se vrátila k původním hodnotám 27 hodin po odehrání utkání a flexe kolena se vrátila k původním hodnotám za 51 hodin. Přestože se obnovila síla extenzorů a flexorů kolena, výkony plyometrických cviků (vertikální skok) se nevrátily na původní úroveň před dalším soutěžním utkáním.

Utkání a intenzivní trénink způsobují opakovaná mikrotrauma různých tkání. Cormack, Newton a McGuigan (2008) uvádí, že efektivní plánování pozápasové regenerace a příprava na následný výkon vyžaduje přesné posouzení vlivu utkání na nervosvalový systém. Alaphilippe et al., (2012) našli významný vztah mezi přetrénováním, kreatinkinázou (CK) a hrací dobou. Docházejí k závěru, že pravidelné sledování biochemických markerů by mohlo umožnit lépe individualizovat tréninkovou zátěž a regeneraci.

Silva et al. (2013) uvádějí ve své práci nárůst CK až do 48 hodin po soutěžním utkání u elitních fotbalistů. Hladina CK se zde vrátila na předzápasovou úroveň do 72 hodin. Ispiridis et al. (2008) také poukazují na zvýšení CK u dospělých mužů, které dosáhlo vrcholu po 48 hodinách a zůstalo významně vyšší až 94 hodin po odehrání utkání. Hladina CK se vrátila na základní úroveň až 120 hodin po odehrání utkání. Andersson et al. (2008) uvádějí 152% nárůst CK bezprostředně po odehrání zápasu, což ukazuje na poškození svalových buněk během utkání. Změna CK v aktivních svalech po zápase odráží strukturální změny ve svalech.

Studie Wiaceka, Andrzejewského, Chmury a Zubrzyckiho (2011) se zabývala kumulativními účinky únavy za celou sezónu u 13 – 14 letých hráčů fotbalu. Ti byli rozděleni podle typu hráče: rychlostní, vytrvalostní a technický. Významný nárůst CK v průběhu sezóny byl zjištěn u rychlostních hráčů. Tyto známky narůstající fyzické únavy a přetrénování jsou způsobeny nedostatečnou dobou na zotavení, které v důsledku mohou vést ke svalové slabosti. Je zajímavé, že studie využívající magnetickou rezonanční spektroskopii, zkoumající změny svalové energie během zranění, by mohla být schopna poskytnout některé odpovědi týkající se navrhované teorie, že děti reagují na nízkou hladinu CK (Tonson et al., 2010). Tonson et al. (2010) zkoumali rozdíly mezi dětmi a dospělými při cvičení. Jejich zjištění naznačuje, že děti více spoléhaly na oxidační metabolismus a méně na reakci CK, aby pokryly energetickou náročnost během cvičení. To by mohlo ukazovat na nižší aktivitu CK před pubertou.

2.7 Zranění ve fotbale

Podle Brophyho, Silverse, Gonzalese a Mandelbauma (2010) se počet zranění ve fotbale u dospělých mužů odhaduje na 10 – 35 v 1000 odehraných hodinách. Často je toto číslo vyšší u mladších a méně kvalifikovaných hráčů. Přibližně 60 – 80 % vážných zranění se vyskytuje v oblasti dolních končetin, nejčastěji u kolene nebo kotníku. Samotné kopání do míče má velký vliv na vznik zranění. Během utkání má hráč v průměru 51 kontaktů s míčem. Z analýzy rizika zranění při hraní fotbalu bylo zjištěno, že kopání do míče představuje polovinu pohybů, které mohou vést ke zranění.

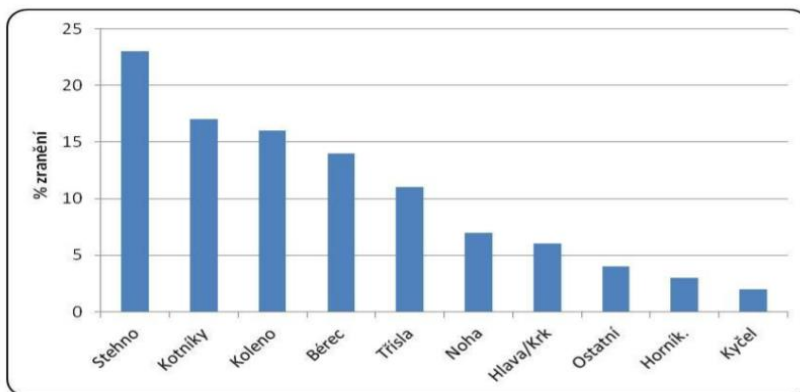
Jedna z nejkompexnějších studií výskytu úrazů u profesionálních fotbalistů (Ekstrand, Hägglund, & Waldén, 2011) sledovala 7 po sobě jdoucích sezón u 23 týmů vybraných unii evropských fotbalových asociací (UEFA). Studie ukázala v této populaci výskyt 8 zranění na 1 000 hodin hraní a byl významně vyšší během zápasu ve srovnání s tréninkem. Zajímavým zjištěním byla zvýšená tendence ke zranění s časem v první i druhé polovině utkání, což naznačuje, že míra zranění je vyšší ke konci utkání, kdy jsou hráči více unavení (Bangsbo, Iaia, & Krstrup, 2007).

Rumpf a Cronin (2012) ve své přehledové studii hodnotili studie zabývající se výskytem zranění na počet odehraných hodin u hráčů mládeže (6 až 18 let). Zjistili, že celkový výskyt úrazů ve vztahu k chronologickému věku je 8,0 úrazů na 1 000 hodin u 9 – 12 letých, 65,8 úrazů na 1 000 hodin u 13 – 15 letých a 8,4 úrazů na 1 000 hodin u 16 – 18 letých. Tyto údaje by naznačovaly, že existuje významný věkový efekt

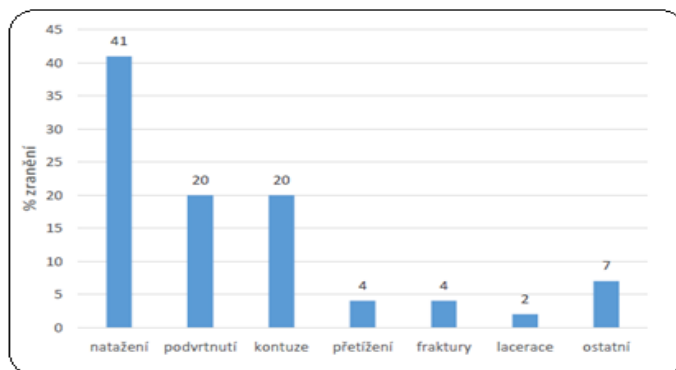
ve výskytu fotbalových zranění v dětství a že děti ve věku 13 – 15 let jsou nejvíce ohroženou skupinou. Tito autoři také uvedli, že:

- ke zranění hráčů dochází pravděpodobněji při utkání než během tréninku,
- hráči s nižšími dovednostmi utrpí zranění s větší pravděpodobností než hráči s vyššími dovednostmi,
- kvalitnější trénink a vhodné zahřátí souvisí s menším počtem zranění,
- obránci a záložníci mají vyšší četnost zranění než útočníci a brankáři,
- dívky vykazují dvakrát větší riziko zranění než chlapci (Rumpf & Cronin, 2012).

Read, Oliver, De Ste Croix, Myer a Lloyd (2018) potvrzují, že svalová poranění tvoří více než jednu třetinu všech zranění způsobených během soutěžní sezóny a způsobí více než čtvrtinu celkové absence v profesionálních fotbalových klubech. Tým o velikosti 25 hráčů tak může očekávat v průměru 12 až 15 svalových zranění (Ekstrand, Hagglund & Waldén, 2011), což odpovídá zhruba 300 dnům absence tréninku (Dvorak, Junge, Derman & Schweltnus, 2011). Na Obrázku 11 můžeme vidět nejčastější oblast fotbalových zranění a na Obrázku 12 můžeme vidět nejčastější typy fotbalových zranění, které nalezneme ve studii Bahr et al. (2008).



Obrázek 11. Lokalizace fotbalových zranění (Bahr et al., 2008)



Obrázek 12. Typy fotbalových zranění (Bahr et al., 2008)

Buzek et al. (2007) se ve své knize zabývají příčinou negativních změn svalových funkcí v oblasti bederní páteře a dolních končetin. Podle autorů může být příčinou nedostatečně kompenzovaná jednostranná či nadměrná tréninková zátěž, která vede ke svalové dysbalanci v dané oblasti, nebo také k nefyziologickému zapojování jednotlivých svalových skupin v průběhu pohybu. V takových případech může dojít ke zhoršení vnitrosvalové koordinace, snížení výkon a zvýšení úrazovosti fotbalistů.

Pochopení rizikových faktorů zranění ve sportu je podle (Brophy, Silvers, Gonzales & Mandelbaum, 2010) nezbytné pro rozvoj strategií pro identifikaci ohrožených sportovců a pro rozvoj preventivních programů. Rizikové faktory pro sportovní zranění jsou běžně popisovány jako vnější a vnitřní, odkazující na faktory mimo tělo nebo faktory uvnitř těla (Knowles, 2010). Se zraněním může být spojeno více vnitřních a vnějších rizikových faktorů, zejména u mladých fotbalistů (Brophy et al., 2010). Zranění mohou být specifické pro daný sport a mohou vycházet z různých pravidel sportu. Bohužel žádný sport není bez rizika (Knowles, 2010). Obecně se předpokládá, že příčiny zranění jsou multifaktoriální, komplexní a také specifické pro daný sport. Pokud jde o vnitřní nebo vnější rizikové faktory, obecně existují faktory rizika poranění: anatomické, neuromuskulární a hormonální (Hewett, 2000).

Anatomické a hormonální složky mohou přispívat ke zvýšenému riziku, nelze je ale ve větší míře ovlivnit. Proto se práce (Yoo et al., 2010) zaměřila na posouzení ovlivnitelných rizikových faktorů spojených s výskytem úrazů v mládí a na navržení vhodného tréninku, který by toto riziko ovlivnil. Vzhledem k individuálnímu průběhu růstu a zrání mladých fotbalistů, je zřejmá naléhavá potřeba identifikovat modifikovatelné rizikové faktory a lépe porozumět mechanismům zranění (Knowles, 2010).

K poranění dolní končetiny dochází v důsledku nedostatečné stability zajišťované mechanismy dynamické a pasivní stability kolena. Pasivní stabilitu zajišťují nekontraktilní struktury kolena. Těmito strukturami jsou kloubní pouzdro, laterální a mediální menisky a čtyři extrakapsulární vazy: laterální vaz, mediální vaz, přední zkřížený vaz (ACL) a zadní zkřížený vaz (PCL) (Hughes & Watkins, 2006). Dynamická stabilita souvisí se čtyřhlavým svaem stehenním a kolenními svaly (Ahmad et al., 2006). Současné důkazy naznačují, že výskyt poranění ACL u mládeže je pravděpodobně způsoben dynamickými stabilizačními strukturami (Hughes & Watkins, 2006).

Poranění ACL jsou většinou bezkontaktního charakteru a mají za následek dlouhé nedobrovolné přerušení tréninku a soutěže. Poranění ACL představuje nejzávažnější poranění z hlediska predispozice k opakovanému poranění a rizika dalších komplikací, včetně častějších degenerativních změn (Alentorn-Geli et al., 2009). Bezkontaktní poranění ACL se obvykle vyskytuje během zpomalovacího manévru kombinovaného se změnou směru. V populační studii provedené Parkkari, Pasanen, Manila, Kannus a Rimpelä (2008) výsledky ukázaly, že riziko poranění zkříženého vazů kolene je u dospívajících a mladistvých relativně nízké, ale účast v organizovaných sportech toto riziko výrazně zvyšuje. Riziko pro mladé talentované hráče je vysoké. Zejména s ohledem na velký objem tréninků a zápasů u elitních mládežnických hráčů.

Zranění hamstringů jsou u dospělých i mladých fotbalistů dlouhodobě nejčastějším zraněním ve fotbale (Ekstrand, Waldén, & Hägglund, 2016). Studie (Croisier, Forthomme, Namurois, Vanderthommen, & Crielaard, 2002) uvádí až 45 % pravděpodobnost opětovného zranění. V průměru z týmu o 25 hráčů se každou sezónu přihodí 5 – 6 zranění svalů, které mají funkci na kolenním kloubu, což odpovídá více než 80 dnům nepřítomnosti (Ekstrand, Hägglund, & Waldén, 2011). Poranění hamstringů může být částečně ovlivněna jejich biartikulární organizací, duální inervací biceps femoris a zastoupením typů svalových vláken, což negativně ovlivňuje vzorce koordinace běhu, zvyšuje riziko zranění při běhu a excentrických svalových kontrakcích (Opar, Williams, & Shield, 2012). Během posledních dvou desetiletí se v profesionálním mužském fotbale zvýšil počet zranění hamstringů s ročním nárůstem o 4 % od roku 2001 do roku 2016 (Ekstrand, Waldén, & Hägglund, 2016). V elitním mládežnickém fotbalu nejsou k dispozici srovnatelná data, ačkoli (Read, Oliver, De Ste Croix, Myer & Lloyd, 2018) uvedli, že od zavedení plánu výkonnosti elitních hráčů se míra výskytu u mladých hráčů zvýšila téměř o třetinu. Prospektivně bylo sledováno 608 elitních mládežnických fotbalistů z akademií šesti profesionálních fotbalových klubů ve věku 11 - 18 let. Míra zranění byla vypočtena jako 1,32 zranění na hráče za sezónu a byla vyhodnocena s průměrnou časovou ztrátou 21,9 dne na zranění. Největší časová ztráta na jedno zranění byla u U14 - U15 a nejvyšší míra těžkých zranění u U15. Natažení a podvrtnutí byly nejčastějším typem zranění. Koleno a kotník byly nejčastěji zraněná anatomická místa.

Marshall, Padua a McGrath (2007) na základě údajů od pojišťovací agentury, která pokrývá více než 1 milion mládežnických fotbalistů ve Spojených státech, provedli

analýzu trendů zranění ACL s ohledem na věk a pohlaví. Tito autoři rovněž zjistili, že 16 – 18 letí jsou nejrizikovější skupinou.

Jedním z důvodů může být, že aby mladí fotbalisté dosáhli špičkového výkonu, jsou během fotbalových tréninků vystaveni velkým objemům a intenzitám (Pfirrmann, Herbst, Ingelfinger, Simon, & Tug, 2016), což zvyšuje přirozeně riziko zranění. Nedávná metaanalýza provedená Pfirrmann, Herbst, Ingelfinger, Simon a Tug (2016) dospěla k závěru, že výskyt úrazů u mladých fotbalistů se zvýšil, zejména pak u profesionálních fotbalistů a svalových zranění. Vzhledem k tomuto nárůstu zranění a vysokému počtu mladých fotbalistů na celém světě je znalost epidemiologických charakteristik mladého hráče důležitá pro zlepšení preventivních strategií a snížení výskytu svalových zranění v této populaci.

2.7.1 Mechanismus úrazu ACL

Sporty, ve kterých je součástí fyzický kontakt mezi hráči, můžeme očekávat zranění dolních končetin. K většině poranění ACL však dochází bezkontaktním způsobem. Ve studii (Wikstrom, Tillman, Chmielewski, & Borsa, 2006) zpráva uváděla, že 78 % zranění ACL bylo bezkontaktních a došlo k nim během dopadů, rychlých změn směru při běhu nebo náhlého zpomalení. Podobně i u kotníku je většina výronů bezkontaktní povahy. Poranění kloubu, které ovlivňují stabilizační vazy, jsou způsobeny náhlými inverzními silami, které přetěžují obranyschopnost kloubu. Tyto síly jsou často kombinovány s dalším pohybem a vedou k natažení nebo natržení svalů nebo stabilizačních vazů. Bohužel i relativně drobná zranění, mohou mít za následek dlouhou dobu rekonvalescence.

Wong a Hong (2005) na základě hodnocení studií v rozmezí 26 let uvádí, že nejčastějšími činnostmi při úrazu jsou souboje, běh, dribling, střelba, náhlá a rychlá změna směru, odraz a dopad. Dolní končetiny jsou často zraněny, protože hráči nejsou schopni dostatečně rychle a vhodně reagovat na změnu vnějších podmínek. Příčinou bezkontaktních zranění mohou být horší povrchy hřišť nebo nevhodná obuv. Nerovnost hrací plochy zvětšuje zatížení vazů a svalů, což může vést až k poranění. Mezi příčiny pádu nebo podklouznutí můžeme řadit i nevhodnou obuv, která nezajistí dostatečnou třecí sílu. Na druhou stranu příliš velká třecí síla může mít za následek zranění při náhlé a rychlé změně směru. Jak již bylo řečeno, ke zranění dochází také při skákání a dopadech, protože hraní fotbalu se neobejde bez hlavičkování, střelby a chytání. Příčiny

takových zranění obvykle jsou nesprávná technika dopadu nebo srážka mezi hráči během výskoku a před dopadem.

Hawkins et al. (2001) také potvrzují, že zranění způsobená bez kontaktu s hráčem jsou častější než zranění způsobená tělesným kontaktem. Tito autoři zkoumali čtyři profesionální fotbalové kluby po dvě sezóny. Nejčastějšími činnostmi, při kterých došlo k úrazu, byly běh, změna směru, střelba a dopad. Při těchto činnostech nastalo 39 % všech zranění.

Pochopení mechanismů úrazů umožňuje jejich lepší léčbu a rozvoj účinných preventivních programů. Pohyb tibie a úhel flexe kolene byly spojovány s několika mechanismy poranění v koleni. Senter a Hame (2006) se zaměřili na poranění předního zkříženého vazy (ACL), zadního zkříženého vazy (PCL) a menisku kolena v souvislosti s úhlem flexe kolena a točivým momentem tibie. Potvrdili, že nadměrná flexe v kolenním kloubu spolu s momentem síly tibie se podílejí na mechanismu poranění ACL. Dai, Mao, Garrett a Yu (2014) uvádí, že kombinace momentu síly a vnitřní rotace tibie v plné extenzi vystavuje ACL vysokému riziku poranění. Také tibiální smyková síla, valgózní i varózní postavení kolene a vnější i vnitřní rotace kolene se významně podílí na poranění ACL (Boden, Torg, Knowles, & Hewett, 2009; Krosshaug et al., 2007). Síla PCL se zvyšuje s flexí kolene a aplikací vnitřního točivého momentu tibie. Meniskus musí snášet větší tlakové zatížení při vyšších úhlech flexe kolena a v důsledku toho je v těchto polohách náchylnější ke zranění. Navíc deficit ACL vystavuje meniskus většímu riziku zranění.

Velikost sil působících na ACL, PCL a meniskus může být během sportovní aktivity redukován prostřednictvím tréninku, použitím vhodného vybavení nebo využívání vhodnějších povrchů. Na těchto biomechanických faktorech bylo založeno několik úspěšných preventivních programů (Senter & Hame, 2006).

Zdá se, že ke zranění mladých fotbalistů dochází převážně ve dvou konkrétních typech pohybu. Jedním z nich je dopad na jednu nohu po skoku a dalším je rychlá změna směru zahájená na jedné noze (Hughes & Watkins, 2006). Dopady i otáčení jsou velmi běžné činnosti a v kombinaci se zrychlením a zpomalením často dochází ke zranění (Hewett, Myer & Zazulak, 2008).

2.7.1.1 Mechanika dopadu

Doskok je považován za jednu z nejběžnějších pohybových činností, kde dochází k poranění ACL (Shimokochi & Shultz, 2008; Krosshaug et al., 2007). Z tohoto důvodu

jsou sledovány a vyhodnocovány různé pohybové vzorce během rané fáze dopadu (Chappell, Creighton, Giuliani, Yu, & Garrett, 2007). Zvýšený valgózní a varózní pohyb kolenního kloubu během dopadu jsou považovány za důležité prediktory poranění ACL (Hewett et al., 2005). Komplexním, validním a spolehlivým přístupem ke klinickému hodnocení biomechaniky skoku a dopadu je „Landing Error Scoring System“ neboli LESS, kde se kvalita dopadu hodnotí na základě analýzy videozáznamu dopadu v sagitální a frontální rovině (Padua et al., 2009). Na základě přítomnosti nebo nepřítomnosti specifických charakteristik dopadu může LESS stanovit riziko zranění ACL u elitních mladých fotbalistů (Padua et al., 2015).

2.7.1.2 Biomechanika poranění ACL ve sportu

Senter a Hame (2006) uvádějí dvě příčiny poranění ACL týkající se momentu síly bérce a flexe v kolenním kloubu ve vztahu k ACL. Jedna ze studií se zaměřuje na alpské lyžování a druhá na kontakt povrchu a obuvi ve fotbale. Vzhledem k vybavení a hracím plochám, musí sportovec udělat kompromis mezi dosažením silné fixace nohy na hrací ploše a vyvarováním se nadměrným silám působícím v kolenním kloubu. Pokud je noha pevně fixována na místě, tak přenáší velkou torzní sílu do kolenního kloubu, což může mít za následek poranění vazů. Pokud by byl lépe popsán vliv faktorů ovlivněných nošením obuvi, hrací plochou a polohou segmentů těla na mechanismus zranění ACL, mohla by být přijata preventivní opatření. Ta by vedla ke snížení počtu natržených ACL, aniž by byla ohrožena schopnost sportovce podávat výkon na vysoké úrovni.

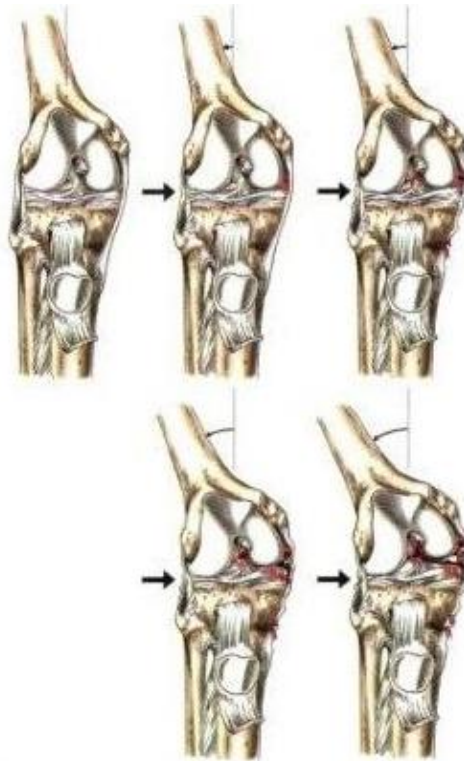
Údaje z lyžařských středisek ukázaly, že riziko poranění ACL při sjezdovém lyžování je větší ve srovnání s jinými sporty (Ettlinger, Johnson, & Shealy, 1995). Přestože celkový počet zranění dolních končetin v alpském sjezdovém lyžování z minulého století klesl, tak právě počet zranění ACL se zvýšil (Hame, Oakes & Markolf, 2002). Je to připisováno vylepšené konstrukci lyžařského vázání a systémů uvolňování bot, které nyní zabraňují zlomeninám holenní kosti a kotníku, ale nezabraňují poraněním kolena. Podle videozáznamů je rotace bérce v transverzální rovině hlavní příčinou zranění ACL při alpském lyžování.

Kolenní vazy jsou statickými stabilizátory kloubu, je však také důležité vzít v úvahu roli svalů jako dynamických stabilizátorů kolenního kloubu. Aby mohlo dojít k poranění ACL v důsledku rotace tibie v koleni, musí být nejprve překonána svalová síla generovaná proti rotující tibii. Jedna studie potvrdila důležitost kvadricepsu při zvyšování síly ACL a hamstringů při snižování síly ACL, když se flexe kolene snižuje (Senter &

Hame, 2006). Zvýšená kontrakce kvadricepsu se podílí na zranění ACL u závodníků ve sjezdovém lyžování, kteří zapojují tyto svaly, aby zabránili pádu vzad (DeMorat, Weinhold, Blackburn, Chudik, & Garrett, 2004). Ve studii DeMorat et al. (2004) aplikovali zátěž (4500 N) na šlachu kvadricepsu ve 20° flexi v kolenou. To vedlo k průměrnému přednímu posunutí tibie o 19 mm a poranění ACL u 100 % testovaných kolen. Tím se zdůraznil význam kontrakce hamstringů pro ochranu ACL před nadměrnou silou způsobenou kontrakcí kvadricepsu.

2.7.2 Poranění kolene

Typické poranění kolen bývá páčení do stran (Obrázek 13), rotační pohyb těla při pevně fixovaném bérce a nadměrná flexe spolu s pákou do stran (Martinková, 2009).



Obrázek 13. Mechanismus vzniku poranění kolene páčením do strany (Martinková, 2009).

2.7.2.1 Poranění ACL (přední zkřížený vaz)

Téměř polovina všech poranění vazivového aparátu kolena jsou izolovaná poranění předního zkříženého vazy. Odhaduje se, že každý rok dojde k poranění 100 000 ACL, z nichž 70 % vzniká při sportovní aktivitě. Nejčastěji k němu dochází při lyžování, americkém fotbale, basketbalu a fotbale. Většina zranění ACL jsou bezkontaktního charakteru, ke kterým dochází, když sportovec náhle zpomalí a jde do rotace na stojné

noze nebo při pohybech jako jsou skákání a dopad. Sportovec obvykle slyší nebo cítí praskání, následně není schopen obnovit aktivitu a má potíže s chůzí (Miller, 2003).

Martinková (2009) uvádí, že u mladších jedinců jsou poranění provázena trvalejšími následky na funkci kolenního kloubu. Ruptura ACL je jedno z nejčastějších poranění sportující populace. Vzniká při rotačně valgózním zatížení nebo při nadměrné extenzi kolena. Ruptura ACL je zranění, které má bohužel za následek mnohem větší pravděpodobnost vzniku osteoartrózy (OA) kolene a také její rozvoj v mladším věku. u zranění ACL je okamžitě pozorován abnormální pohyb, zatímco degenerativní změny v chrupavce jsou pozorovány až o mnoho let později. Příčinou těchto degenerativních změn může být abnormální pohyb dolní končetiny s nedostatečným pohybem ACL (Chaudhari et al., 2008).

Engel-Chorus (2005) uvádí, že ve fotbale si ACL můžeme poranit, když nám někdo zezadu šlápne na lýtko. Hootman, Dick a Agel (2007) dodávají, že poranění ACL je výrazně častější v utkání než v tréninku. Ve fotbale je výskyt poranění ACL u žen 2 – 10 krát vyšší než u mužů. Zranění často zahrnuje chybnou techniku dopadu, zpomalení, otáčení nebo dribling se změnou směru (Brophy, Silvers, Gonzales, & Mandelbaum, 2010).

Podle dostupné literatury je poranění ACL chronologicky i biologicky závislé na věku. Shea, Pfeiffer, Wang, Curtin a Apel (2004) zjistili, že frekvence poranění ACL se zvyšuje od 13 let a Peterson, Junge, Chomiak, Graf-Baumann a Dvorak (2000) uvedli, že k nejzávažnějším zraněním dochází v mládežnickém fotbale ve věku 14 - 16 let. Toto zjištění souhlasí s prací Rumpfa a Cronina (2012) kteří uvedli, že skupina 13 - 15letých sportovců je vystavena nejvyššímu riziku zranění, následovaná skupinou 16 - 19letých sportovců. Ze studie Shea, Pfeiffer, Wang, Curtin a Apel (2004) mladých sportovců uvádí, že nejvyšší výskyt poranění ACL byl ve skupině 16 - 18letých sportovců. Bylo také prokázáno, že výskyt úrazů souvisí s úrovní zralosti, zejména v období růstového spurtu (Van Der Sluis, Elferink-Gemser, Brink, & Visscher, 2015). Kvalita neuromuskulárních funkcí u dětí je nižší ve srovnání s dospělými a nervová kontrola se u dětí zvyšuje s věkem až do postpuberty (kolem 15 - 16 let) (Di Giminiani & Visca, 2017; Laffaye, Choukou, Benguigui, & Padulo, 2016).

Změna pohybu v koleni po úrazu ACL

ACL hraje důležitou roli v pohybu v kolenním kloubu tím, že kontroluje přední i zadní posuvný pohyb a vnitřní i vnější rotaci. Po rekonstrukci ACL je kolenní kloub

ve větší vnější rotaci, což má za následek zvýšené riziko osteoartrózy (Chaudhari et al., 2008). Posun v kolenním kloubu pozorovaný po poranění ACL může způsobit také degenerativní metabolické změny v oblastech chrupavky, pokud se tkáň nemůže přizpůsobit novému modelu zatížení.

2.7.2.2 Poranění PCL (zadní zkřížený vaz)

Poranění PCL nebývá tak časté jako ACL. Bohužel tato poranění jsou většinou složitější, protože se převážně vyskytují v kombinaci s dalšími zraněními. PCL primárně omezuje zadní translaci (posun) tibie. Nejčastěji bývá poraněn, když dopadneme nebo došlápneme s propnutým kolenem. Biomechanická studie Li, Most, DeFrate, Suggs, Gill a Rubash (2004) ukázala, že síla generovaná v PCL je největší při 90° flexe a nejmenší při plné extenzi.

Kombinace zadní tibiální zátěže (100 N) se zevním tibiálním točivým momentem síly snižuje sílu generovanou v PCL při všech úhlech flexe. Při kombinaci zadního tibiálního zatížení a vnitřního tibiálního točivého momentu se síly generované v PCL zvyšují ve všech úhlech flexe kolene kromě 20 až 40°. Také se zdá, že PCL hraje větší roli při omezování vnější tibiální rotace více než vnitřní rotace. Tyto informace mohou být užitečné při zlepšování chirurgických rekonstrukcí PCL. U pacientů, jejichž předozadní stabilita se zlepšila rekonstrukcí PCL, dochází k dlouhodobým degenerativním změnám v mediálním a patelo-femorálním kloubu kolena. Autoři naznačují, že výsledky rekonstrukční chirurgie PCL by se mohly zlepšit, pokud by se kromě předozadní stability zlepšila také rotační stabilita kolena. Vzhledem k důležitosti klečení a dřepu v určitých kulturách a povoláních se studie Nagura, Dyrby, Alexander a Andriacchi, (2002) zaměřila na zkoumání role PCL při nadměrné flexi kolene. Tito autoři zjistili, že přímá zadní síla působící na tibií ve flexi byla maximální při 150°. Předpokládá se, že když je PCL primárním omezovačem zadní translace tibie, jeho role musí být významná při pohybu kolenního kloubu do nebo z výrazné flexe. Při flexi kolene >120° je mnohem menší předozadní translace a rotace tibie ve srovnání s menší flexí. Uvedená studie tedy naznačuje, že stabilita kolena při úhlech flexe >120° může být přisouzena kontaktu mezi tibií s femorálními kondyly a intervenujícími měkkými tkáněmi včetně zadních rohů menisků (Senter & Hame, 2006).

2.7.2.3 Poranění menisků

Poranění mediálního menisku je často spojené s traumatickými poraněními ACL. Mechanismus úrazu u sportovců nejčastěji zahrnuje náhlou změnu směru při běhu, dřepu nebo nadměrné extenzní síly na koleno. Meniskus se může také roztrhnout kvůli degeneraci jeho kolagen-proteoglykanové matrice. Meniskus přenáší 70 – 99 % tibiofemorální kompresivní zátěže. Obecně platí, že čím větší je úhel flexe kolene, tím větší je množství síly přenášené meniskem během zátěže (Johnson & Coughlin, 2003).

ACL a meniskus se vzájemně ovlivňují. Klinická pozorování u pacientů odhalila, že s chronickou nedostatečností ACL se často rozvinou trhliny v menisku a také osteoartritida, zatímco pacienti s meniscektomií si často zraní nebo znovu poškodí ACL. Bylo zjištěno, že napětí přenášené přes kolenní kloub po meniscektomii je 2,5krát větší než u intaktního (zdravého) kolena. Papageorgiou et al. (2001) dále zjistili, že když je ACL poškozeno, tak síla naměřená na mediálním menisku ve flexi se zdvojnásobuje ve srovnání se silou na meniskus u intaktního kolena. Klinická pozorování také ukazují, že hojení menisku je narušeno poraněním ACL a naopak.

Distorze kolenního kloubu

Poranění měkkého kolena je jedno z nejběžnějších zranění na dolní končetině. Jde převážně o sportovní úrazy, k nimž dochází při lyžování, basketbalu, volejbalu a fotbalu (Martinková, 2013).

Kontuze (pohmoždění) kloubů

K pohmoždění kloubu dochází působením přímé zátěže na kloub. Převážně se jedná o pády při chůzi, běh v terénu a při sportovních činnostech. Nejběžněji se jedná o cyklistiku, lyžování, bruslení a kontakt s protihráčem u kolektivních sportů. Poškozena bývá kůže, podkoží a vazy kolem kloubu. Poškozena může být i kloubní výstelka. Nejčastěji jsou postiženy klouby ramenní, loketní, kolenní a hlezenní (Martinková, 2009).

Ruptury kolaterálních vazů

Jsou běžným poraněním u lyžování, fotbalu a v kontaktních sportech. Rychlý pohyb do valgózního nebo varózního postavení dolních končetin vede k částečné nebo úplné ruptuře postranního vazů. Při působení velkých sil může dojít k přetržení ACL, případně poranění menisku. Ojedinele můžeme narazit na vytržení úponu kolaterálního

vazu s malou lamelou kosti. Častější je poranění mediálního kolaterálního vazů (Trnavský & Rybka, 2006).

Ruptura menisku

Jedná se o obvykle izolované poranění měkkého kolene. Tyto úrazy vznikají převážně mezi 20. a 30. rokem života, zejména u sportovců nebo sportující populace. Poranění je způsobeno při flexi kolene a nejčastěji je meniskus roztržen při rotaci (Trnavský & Rybka, 2006).

2.8 Prevence

Sportovní zranění je třeba vnímat komplexně, takže řešení procesu prevence úrazů holistickým přístupem se zdá být zásadní pro zvýšení pravděpodobnosti úspěchu (Bittencourt et al., 2016). Prvním krokem v prevenci úrazů je epidemiologická analýza s cílem porozumět incidenci, zátěži a souvisejícím rizikovým faktorům pro konkrétní skupinu jedinců. To je zvláště důležité u mladých sportovců, kde růst a zrání může být ovlivňujícím faktorem (Price, Hawkins, Hulse, & Hodson, 2004). Zranění samo o sobě je jedním z hlavních faktorů ovlivňujících riziko dalšího zranění a způsobuje dlouhé období tréninkové absence, která ohrožuje rozvoj mladých sportovců (Arnason et al., 2004).

Engel-Chorus (2005) potvrzuje, že míčové hry počtem zranění převyšují ostatní druhy sportu. Jak bylo popsáno výše, tak ve většině případů v kolektivních sportech jde o zranění dolních končetin. Zranění jsou také způsobena pohyby, které jsou charakteristické pro daný druh sportu. Ve fotbale jsou problematické především pohyby segmentů související s náhlou a rychlou změnou směru, které jsou nedílnou součástí této hry. Proto by fotbalisté měli zařadit do svého rozcvičení cviky zaměřené na stabilizaci kolena (Engel-Chorus, 2005).

Cílem rozcvičení je připravit organismus na zvýšené zatížení, a také pomocí vhodně zvolených činností předejít poškození pohybového aparátu. Optimální je, když jedinec na konci rozcvičení dosáhne svého anaerobního prahu. Při zahřátí organismu proudí krev z centra do okrajových částí těla. Tím se zvyšuje elasticita kosterních svalů a klesá jejich vnitřní viskozita. Zahřáté svalstvo má vyšší povrchovou teplotu, proto teplo lépe proniká do vaziva a šlach. Následně dochází ke zvýšení rozsahu pohybu ve vazivu, v kloubních pouzdrech a okolních tkáních (Jebavý, Hojka, & Kaplan, 2014).

Strečink je jedna z metod, která slouží k protažení svalů, které mají tendenci ke zkrácení. Odstraňuje bolestivé stavy pohybového aparátu a celkově pomáhá

k uvolnění a relaxaci svalstva. V současné době využívá strečink poznatky z různých vědních disciplín, jakou je i fyzioterapie. Díky těmto poznatkům mohou cvičení efektivněji působit na pohybový aparát u sportovců a také u jedinců po zranění (Jebavý et al., 2014).

Provedení rozcvičení před tréninkovou jednotkou nebo utkáním, umožňuje sportovci eliminovat možnou hrozbu zranění a zároveň napomáhá k dosažení optimálního sportovního výkonu. Trenér by měl v rozcvičení respektovat hráčský post, individuální zvláštnosti a individuální rozcvičovací strategii každého hráče. Tímto poukážeme na rozdílnost při rozcvičení hráče a brankáře (Jebavý et al., 2014).

Za účelem eliminovat riziko zranění byly navrženy také preventivní programy např. „F-MARC 11“, jejichž jednotlivé cviky se zařazují do rozcvičení. Navrhované preventivní programy se ukázaly jako účinné pro snížení výskytu zranění ve fotbale (Jebavý et al., 2014). Při tvorbě preventivních a rehabilitačních programů je nutné zohlednit také informace o zranění (Wong & Hong, 2005).

2.8.1 Stabilita kolenního kloubu

Funkční stabilita kolenního kloubu je zajištěna statickým a dynamickým omezením v kloubu a je řízena s pomocí dopředné a zpětné vazby (Wikstrom, Arrigenna, Tillman, & Borsa, 2006). Dopředná vazba (feed-forward) zahrnuje anticipační svalové akce, ke kterým dochází před sensorickou detekcí. Tyto akce jsou vyžadovány zejména z hlediska rizika zranění po doskoku nebo změně směru. Naopak zpětná vazba je stimulace nápravné reakce nervosvalového systému po sensorické detekci (Riemann & Lephart, 2002). Stabilita kloubu a ochrana před zraněním závisí však také na adekvátní zpětné vazbě, která zlepšuje parametry svalové tuhosti během funkčních úkolů. Během dopadu na zem, kdy je možnost poranění ACL, je reakce nervosvalového systému nezbytná. Je známo, že vnitřní a vnější síly vzniklé v kolenu během dopadu namáhají vazivové struktury, často nad jejich úroveň. Svalová síla je zásadní pro udržení stability kloubu, především zvýšením tuhosti kloubu prostřednictvím kontrakce antagonistických svalů. Zkoumání kontrakce hamstringů nebo čtyřhlavého svalu naznačuje, že může zdvojnásobit nebo dokonce ztrojnásobit tuhost kloubů a zvýšit stabilitu kloubu až o 50 % (Russell, Croce, Swartz, & Decoster, 2007).

Vedle náhlé změny směru zatěžuje ACL také cval stranou, čímž dochází ke zvýšení relativního rizika zranění (Lloyd, Buchanan, & Besier, 2005). Tyto pohyby u dětí vykazují podobný vzorec zatížení vazů jako u dospělých. Může se tedy stát, že v důsledku

rozvoje řízení pohybu během dětství může být rostoucí dítě predisponováno k většímu zatížení vazů ve srovnání s dospělými (Lehnert et al., 2019).

2.8.1.1 Role hamstringů a čtyřhlavého svalu stehenního ve stabilitě kolene

Kvadricepsy a hamstringy se jako svalové skupiny podílejí na několika důležitých motorických schopnostech, jako je běh a skákání (Bamaç et al., 2008). Při provádění dynamických pohybů, jako jsou dopady a úkroky do stran, je dynamická stabilita ve formě svalové aktivity zásadní pro zajištění dostatečné stability kloubu (Hughes & Watkins, 2006). Zde je podstata svalu velmi důležitá pro udržení stability kloubu a je také nápomocna při prevenci zranění. Excentricky spolupůsobící hamstringy mají schopnost poskytovat významnou dynamickou stabilitu kolenního kloubu během rychlé a silné extenze (Coombs & Garbutt, 2002). Snížená funkce antagonistických svalů v důsledku činností, které zdůrazňují zátěž na extenzorech kolene, může mít za následek svalovou nerovnováhu mezi hamstringy a kvadricepsy. Pravděpodobně tak může predisponovat sportovce ke zranění (Rosene, Fogarty, & Mahaffey, 2001). Podle Ahmada et al. (2006) může dospívání s fyziologickými a hormonálními změnami ovlivnit svalovou sílu a laxicitu vazů.

Účinnost aktivního svalového kontrolního systému v synergické práci s pasivním kloubem pomáhá zajišťovat dynamickou stabilitu kolena. Jakákoli neuromuskulární nerovnováha, která omezuje toto partnerství, může zvýšit riziko poranění ACL. Při malé flexi v koleni (0° až 30°) má kontrakce kvadricepsu za následek posun tibie dopředu a zvyšuje se tak zatížení ACL, zejména bez vyvážené kontrakce kolenních flexorů, které by snížilo namáhání vazů (Myer, Ford, & Hewett, 2004). Myer et al. (2009) uvedli, že svalová kontrakce kolenních flexorů může pomoci vyvážit aktivní kontrakci kvadricepsu, která může stabilizovat kloub a pomáhat tak při kontrole vysokých abdukčních momentů kolena nebo valgózního a varózního postavení. Naznačují také, že vhodná neuromuskulární kontrola může zabránit kritickému zatížení, které zapříčiní prasknutí ACL během pohybu.

Je otázkou, zda reflexní svalová aktivace a adekvátní tuhost kloubu mohou nastat dostatečně rychle, aby ochránily kloub, jakmile je na vaz aplikována velká síla. Russell, Croce, Swartz a Decoster (2007) zkoumali poměry síly hamstringů a kvadricepsů během dopadu u dětí ve srovnání s dospělými. Dospělí před dopadem aktivovali své hamstringy ve větší míře než děti. To také naznačuje, že tento dopředný mechanismus je vyspělejší u dospělých než u dětí. Tato data jsou podpořena i prací Lazaridise et al. (2010), kteří

také prokázali větší preaktivaci lýtkových svalů u dospělých mužů ve srovnání s prepubertálními chlapci.

2.8.2 Neuromuskulární funkce

Neuromuskulární činnost je celkový přenos informací mezi nervovým systémem a svalovými strukturami, což souvisí jak se svalovou koordinací, tak se stimulací svalu. Svalová aktivita je pak vnějším projevem svalové stimulace, kterou lze měřit elektromyografií (EMG). v případě povrchové elektromyografie se měří účinky svalové stimulace (tonu), kdy je detekována změna elektrické aktivity při depolarizaci, která se šíří přes membránu svalového vlákna.

Některé studie, které použili EMG u dětí, zkoumaly, zda rozdíly v provádění vybraných motorických úloh mezi dětmi a dospělými může být spojen s neuromuskulárním deficitem u dětí. Například Quatman a Hewett (2009) provedli longitudinální studii zabývající se rozdíly mezi pohlavími v síle při dopadu a výkonnosti ve skoku u dospívajících sportovců. Jejich výsledky naznačují, že neuromuskulární spurt během puberty je patrný u chlapců, ale ne u dívek. Na tato data je třeba nahlížet s určitou opatrností, protože výstupními proměnnými byly výška vertikálního skoku a síla při dopadu. Dostupné údaje naznačují, že rozdíly mezi dětmi a dospělými mohou souviset s mírou svalové aktivity nebo rychlostí pohybu. Je poměrně dobře známo, že změny v generování síly související s věkem jsou obecně do určité míry doprovázeny změnami ve vzorcích neuromuskulární aktivace. Změny v momentech sil, které souvisejí s věkem, zvyšují pravděpodobnost, že neuromuskulární faktory hrají významnou roli v rozdílech ve svalové síle (Lehnert et al., 2019).

Řada studií ukazuje, že děti mají ve srovnání s dospělými sníženou schopnost aktivace motorických jednotek (MU) (Dotan et al., 2013; Fox, Moon, Kwon, Chen, & Christou, 2014). Studie O'Briena, Reevese, Baltzopoulose, Jonese a Maganarise (2012) potvrzuje, že dospělí mají schopnost aktivovat větší procento svého fondu motorických jednotek ve srovnání s chlapci a dívkami. Dospělí aktivují až 87 % svých motorických jednotek, chlapci 75 % a dívky 68 %. Můžeme tedy předpokládat, že v určité fázi se schopnost aktivovat větší procento MU rozvíjí.

Studie, která zkoumala změny související s věkem a pohlavím v aktivaci kolenních svalů během dopadu nebo otočení, prokázala sníženou předaktivaci hamstringů před přistáním u dětí ve srovnání s dospělými (Lazaridis et al., 2010). Tyto údaje naznačují, že

neuromuskulární dopředné mechanismy jsou u dospělých ve srovnání s dětmi zralejší, což poskytuje zajímavý pohled na nervosvalové mechanismy.

Elektromechanické zpoždění (EMD)

EMD je považována za důležitý ukazatel neuromuskulární výkonnosti (Blackburn, Bell, Norcross, Hudson, & Engstrom, 2009).

V práci Cohena et al. (2010) pozorovali významně delší EMD u dětí (9-12 let) ve srovnání s dospělými (65 ms vs. 57 ms) u extenze a flexe kolena při izometrických cvičeních. Nenalezli však žádný významný rozdíl mezi trénovanými a netrénovanými dětmi. Dotan et al. (2013) zjistili významně delší zpoždění EMD u chlapců ve věku 8 - 12 let ve srovnání s dospělými muži. Zajímavé je, že u mladých trénovaných gymnastů byla EMD identická s netrénovanými muži, což ukazuje na potenciální účinky snížení EMD u dětí prostřednictvím tréninku. Studie zkoumající změny EMD po simulovaném fotbalovém utkání potvrdily, že se EMD zvyšuje. Tudiž přítomnost únavy u všech věkových skupin ohrožuje neuromuskulární zpětnou vazbu (De Ste Croix, Priestley, Lloyd, & Oliver, 2015). Delší EMD u dětí může být důsledkem rozdílů ve složení svalů. Rozdíly ve svalové aktivaci, jako je podráždění, kontrakce a rychlost vedení svalovým vláknem, se proto podílejí na tomto delším EMD. Proto tato nižší rychlost rozvoje síly může snížit svalovou tuhost šlach a zvýšit potenciál zranění u dětí (Lehnert et al. 2019).

2.8.3 Mechanika odrazu a dopadu

Landing Error Scoring System (LESS) byl popsán jako spolehlivá a validní metoda (Onate, Cortes, Welch, & Van Lunen, 2010) vhodná pro identifikaci sportovců s rizikem poranění ACL (Smith et al., 2012). Jiné studie (Padua et al., 2009; Thomas, McLean, & Palmieri-Smith, 2010) hodnotily účinky únavy na mechaniku dopadu v oblasti kyčlí a kolen. Jejich výsledky naznačily, že se riziko zranění kolene během soutěžní sezóny nezvýšilo kvůli kumulativní únavě.

Další studie se zaměřila na porovnání svalové síly při skoku a dopadu mezi muži a ženami. Pochopení vnitřních a vnějších faktorů, které přispívají k pohybovým vzorcům, je zásadní pro prevenci poranění ACL. Izometrická svalová síla dolních končetin, antropometrie a technika skoku byly analyzovány u 2 753 kadetů (1 046 žen, 1 707 mužů) z U.S. Air Force. Doskoky byly hodnoceny pomocí systému LESS. Průměrné skóre LESS

bylo významně vyšší u žen oproti mužům. Důvodem byly zejména menší flexe v kyčli a koleni při počátečním kontaktu, větší valgozita kolen se širším postojem při dopadu a menší změna flexe od počátečního kontaktu se zemí po dopad. U mužů se zde také vyskytovaly nedostatky v technice dopadu. Převážně to byl dopad přes paty nebo asymetrický dopad. Velikost svalové síly a antropometrické faktory však nepredikovaly změny skóre pro žádné pohlaví, což naznačuje, že BMI nebo svalová síla nemusí mít přímý vliv na pohybové vzorce při dopadu (Beutler, Sarah, Marshall, Padua, & Boden, 2009).

Celkově lze říci, že riziko bezkontaktního poranění ACL je u žen dvakrát vyšší než u mužů (Arendt, Agel, & Dick, 1999). Specifické odchylky v pohybových vzorcích během počáteční fáze dopadu jsou zvláště důležité, protože dopad je nejčastější činnost, kdy dochází k poranění ACL u obou pohlaví (Shimokochi & Shultz, 2008). Vyšší riziko zranění u žen může souviset s odlišnými tělesnými předpoklady. Výzkumné studie uvádějí, že ženy mají větší Q-úhly, slabší hamstringy a jiný poměr síly mezi kvadricepsy a hamstringy než muži (Myer et al., 2009). Ženy také dopadnou ze skoku s menší flexí kolene a větší valgozitou kolene než muži (Ford, Myer, & Hewett, 2003; Chappell, Creighton, Giuliani, Yu, & Garrett, 2007), tím se zvyšuje jejich riziko poranění ACL.

Mechanika dopadu a svalová únava

Únava způsobuje kritické změny v nervosvalové kontrole během pohybových úloh s vysokou intenzitou a přímo ovlivňuje dynamickou stabilitu kolena (Hughes & Watkins, 2006). Zejména, svalová aktivace, koaktivace, statická a reaktivní síla jsou inhibovány během podmínek únavy (Padua et al., 2006). Svaly jsou proto méně schopné absorbovat reakční síly a tělo je nuceno používat různé mechanismy, aby se vyrovnalo se zátěží. Šlachy a vazy jsou pak během krátké doby vystaveny větší zátěži (Hewett et al., 2005). Změny nervosvalové kontroly způsobené únavou mohou mít za následek změny pohybových vzorců a mohou zvýšit riziko zranění (Fidai et al., 2018).

V reakci na svalovou únavu může také docházet k celkovému snížení schopnosti detekovat pohyb kloubu ve směru extenze, prodloužení doby začátku kontrakce pro mediální hamstring a laterální lýtkové svaly v reakci na dopad (Rozzi, Lephart, & Fu, 1999). Svalová únava je považována za důležitý faktor při narušení nervosvalových mechanismů, protože ovlivňuje stabilitu kolenního kloubu (Ribeiro, Mota, & Oliveira, 2007). Důležitým aspektem změněné kloubní propriocepce v důsledku únavy je snížení neuromuskulární kontroly (Rozzi, Yuktanandana, Pincivero, & Lephart, 2000).

V důsledku zvýšené doby latence při únavě nejsou svaly schopny dostatečně rychle reagovat, aby ochránily kloub před zraněním, zejména u mladých sportovců. Skinner, Wyatt, Hodgdon, Conard a Barrack (1986) uvádí, že během únavových stavů měli účastníci jejich výzkumu významně snížené propioceptivní schopnosti. Tito autoři naznačují, že je to způsobeno buď změnou impulsů ze samotných svalů, nebo abnormálním napětím v kloubním pouzdře v důsledku svalové únavy. Změněná kloubní propiocepce v důsledku únavy může mít dopad na nervosvalovou kontrolu. To podporují také Lehnert et al. (2019). Tito autoři tvrdí, že únava lýtkových svalů u fotbalistů potenciálně ovlivňuje dynamickou svalovou kontrolu kolenního kloubu a může být částečně zodpovědná za riziko poranění ACL.

Zkoumání mechaniky dopadu u sportovců ukázalo, že zejména ženy mají tendenci dopadat se zvýšenou valgozitou kolene, sníženou flexí kolene i kyčle a rotací holenní kosti (Bruton, O'Dwyer, & Adams, 2013; Fox, Bonacci, McLean, Spittle, & Saunders, 2014). Studie zaměřená na mladé fotbalisty naznačuje, že fotbalový trénink zvyšuje dominanci kvadricepsů (Iga, George, Lees, & Reilly, 2009), což může mít za následek lepší zpevnění kloubu a snížení rizika zranění. Nervosvalová únava dolních končetin může také zvýšit riziko poranění ACL zachováním abnormálních a potenciálně nebezpečných strategií dopadu (Borotikar, Newcomer, Koppes, & McLean, 2007; Padua et al., 2006).

Thomas, McLean a Palmieri-Smith, (2010) zkoumali změny v pohybu kyčlí a kolen (ve všech třech rovinách) při únavě hamstringů a kvadricepsů. Zjistili, že únava snížila flexi kolene při dopadu. Únava také zvýšila vnitřní rotace kyčle a vnější rotaci kolena. Zajímavé je, že Patrek et al. (2011) zjistili, že změny v mechanice dopadu na jedné noze po únavě kyčelního abduktoru nebyly považovány za nepříznivé pro integritu ACL. Po tréninkové jednotce Cortes et al. (2012) a Lucci et al. (2011) u fotbalistů (12 – 17 let) zaznamenali zvýšenou vnitřní rotaci kolena, sníženou flexi kolene a sníženou flexi kyčle. Zdá se, že akutní únava obecně mění mechaniku dopadu u sportovců.

2.8.4 Programy prevence zranění

Preventivní programy byly definovány jako strukturované mnohostranné intervence, které mohou obsahovat činnosti typu zahřátí, strečink, neuromuskulární cvičení, trénink agility, síly, kondice nebo propioceptivní cvičení, jejichž cílem je snížit riziko zranění. Ve studiích jsou preventivní programy používány v tréninku

a utkáních během soutěžního i přípravného období. Sportovci by měli programů využívat konzistentně a pravidelně s minimálně patnácti minutovou délkou cvičení (Soomro et al., 2016).

F-MARC

Lékařské a výzkumné centrum FIFA (F-MARC) navrhlo komplexní zahřívací program zaměřený na svalovou sílu, tělesné kinestetické uvědomění a neuromuskulární kontrolu při statických a dynamických pohybech, aby se snížilo riziko zranění pro fotbalisty. Zraněním ve fotbale není možné zcela zabránit, ale jak ukázal výzkum prováděný agenturou F-MARC, je možné podstatně snížit riziko jejich vzniku. Například provedením programu prevence úrazů FIFA 11+ místo tradičního zahřívacího programu může dojít ke snížení rizika zranění až o 30 % a u rizika vážnějšího zranění jako je zranění ACL až o 50 %. Z hlediska účinnosti těchto preventivních programů je nutné, aby hráči tyto programy pravidelně prováděli, což samozřejmě do jisté míry souvisí i s osobou trenéra, který by měl na jejich dodržování apelovat (Al Attar, Soomro, Pappas, Sinclair, & Sanders, 2016).

Zařazení preventivních cvičení v rozevčiče, by mělo pomoci snižovat zranění ve fotbalové komunitě. Týmy, které aplikovali preventivní cvičení v tréninku měli vyšší procento ochrany před úrazy a akutními poraněními. Na základě těchto poznatků se doporučuje, aby fotbalové týmy dospívajících (U13 - U18) se účastnili takového tréninku včetně se cvičením rovnováhy pro snížení rizika zranění ve fotbale (Emery & Meeuwisse, 2010). Tento tréninkový program byl účinný při snižování rizika všech úrazů a akutních poranění.

2.8.5 Valgózní a varózní postavení kolen

Valgózní postavení kolen

Dungl (2005) píše, že se jedná o stav zakřivení kolenního kloubu. Valgozita neboli vbočení kolenního kloubu má několik termínů. Může být označena jako "úchylka kolenního kloubu do tvaru písmene X", dále ji můžeme najít v literatuře pod názvy "knock knees" nebo "genua valga". Tichý (2008) valgozitu popisuje jako odchýlení kolen od podélné osy, která prochází kyčelním, kolenním a hlezenním kloubem (Obrázek 14).



Obrázek 14. Valgózní postavení kolen (Pernicová et al., 1993).

Příčiny vzniku jsou primární, mezi které se řadí genetika a sekundární, kde nalezneme růstové vady, degenerativní změny a úrazy. Dungal (2005) také uvedl, že častým projevem zvýšené valgozity kolenních kloubů je obezita spojená se sníženou aktivitou. Výskyt valgozity je mnohem větší u dětí s nadváhou než u dětí bez nadváhy. U zvýšené valgozity se také uvádí zvýšená laxicita vaziva, která v souvislosti s nadváhou může tento stav vytvořit (Petrášová, Zemková, & Mařík, 2012).

Zvýšená dynamická valgózní poloha a abdukční zátěž na dolní končetině predikují zvýšené riziko poranění ACL u sportovců. Tyto zátěže jsou často způsobeny dysfunkcí jádra nebo trupu a také ztrátou symetrie mezi končetinami (Hewett, Ford, Hoogenboom, & Myer, 2010). Valgózní úhly v koleni jsou často spojeny se sníženou flexí kolen, kyčlí a pronací v subtalárním kloubu (Brophy et al., 2010).

Varózní postavení kolen

Varozita kolenního kloubu neboli vybočená kolena (Obrázek 15) je odchýlení kolen od podélné osy procházející kyčelním, kolenním a hlezenním kloubem (Tichý, 2008). Může být také označena jako "úchylka kolenního kloubu do tvaru písmene O" a dále ji nalezneme pod termíny "bow-legs" nebo "genua vara", který značí velmi častou deformitu kolenního kloubu v dětském věku (Dungal, 2005).



Obrázek 15. Varózní postavení kolen (Pernicová et al., 1993).

Příčina vzniku varózního postavení dolních končetin je podobná jako u valgózního postavení. Jedna z hlavních příčin vzniku je chůze po vnější straně chodidel. Mezi patologické příčiny se řadí Blountova choroba, křivice (nedostatek vitamínu D), infekce, vrozené, kosterní dysplazie (Greene, 1996). Voloc et al. (2010) zkoumali varozitu a valgozitu u dětí s nízkou hladinou vitamínu D. Zjistili, že nízká hladina vitamínu D v kombinaci s dalšími rizikovými faktory, jako je nízká hladina vápníku, možné poruchy trávení, jsou spojeny se zvýšeným rizikem varozity i valgozity u dětí a dospívajících.

2.9 Hodnocení mechaniky dopadu

V různých výzkumech bylo potvrzeno, že screeningové nástroje mohou identifikovat sportovce, kteří jsou náchylnější ke zraněním dolních končetin, jako jsou zranění ACL, kotníku, hamstringů nebo třísla (Dallinga, Benjaminse & Lemmink, 2012). Jedním z takových nástrojů je Landing Error Scoring System, který je využíván pro identifikaci rizika zranění ACL.

2.9.1 Landing Error Scoring Systém (LESS)

LESS je validní klinický nástroj, který identifikuje jedince se zvýšeným rizikem poranění ACL. Je užitečný pro screening sportovních týmů, protože jedincům označeným jako „vysoce rizikový“ mohou být následně poskytnuty intenzivní preventivní programy. LESS byl navržen jako nástroj klinického hodnocení k identifikaci subjektů vykazujících rizikovou mechaniku dopadu ve vztahu k bezkontaktnímu poranění ACL. Subjekty s vysokým skóre LESS (špatná technika dopadu) vykazují významně odlišný pohyb

dolních končetin ve srovnání se subjekty s nízkým skóre LESS (výborná technika doskoku) Padua et al. (2009). Zvyšující únava se projevuje změnou postavení dolních končetin při doskoku, kdy je rizikové zejména valgózní postavení kolenního kloubu v kombinaci se zevní rotací bérce (Whiting & Zernicke, 2008).

Hodnocení doskoku LESS probíhá tak, že se ke každému subjektu pořídí záznam jednotlivých doskoků na dvě videokamery, které subjekt snímají z čelní a boční roviny. Následně se z nahrávek vyhodnotí 17 položek. Položky 1 – 6 se zabývají polohou dolních končetin a trupu v době prvního kontaktu se zemí. Položky 7 – 11 hodnotí chyby v umístění chodidel. Z toho položka 7 a 8 hodnotí široké a úzké postavení dolních končetin v okamžiku, kdy je celé chodidlo v kontaktu se zemí. Položky 9 a 10 hodnotí vnější a vnitřní rotaci chodidla mezi počátečním kontaktem se zemí a maximální flexí kolena. Položky 12 – 14 hodnotí pohyb dolních končetin a trupu mezi počátečním kontaktem se zemí a okamžikem maximálního úhlu flexe kolena nebo okamžikem maximálního úhlu valgosity kolena u položky 15. Poslední dvě položky se zabývají celkovým pohybem sagitální roviny a obecným vnímáním kvality dopadu hodnotitelem (Padua et al., 2009).

Hewett et al. (2005) uvádí, že testovaní jedinci, kteří získali z hodnocení dopadu skóre LESS 5 a více bodů mají větší riziko bezkontaktního zranění. Další studie od Padua et al. (2015) uvádí, že u elitních mládežnických fotbalistů ve věku 14 let skóre LESS 6 a více souvisí s vyšším rizikem zranění ve srovnání s jedinci s hodnotou 4 nebo méně. Nižší hodnoty mohou naznačovat větší biomechanickou kontrolu během dopadu. Avšak ani vysoké skóre LESS není garancí, že testovaný jedinec utrpí zranění ACL. Tato metoda může být efektivní na rozdělení sportovců na skupiny s větším nebo menším rizikem poranění ACL.

Podle studie Padua et al. (2009) ze které se vychází, by se naměřená data měla prezentovat s opatrností z důvodu malého počtu zranění ACL.

3 Cíle

3.1 Cíle práce

Hlavním cílem práce bylo zhodnotit změny mechaniky dopadu u mladých fotbalistů.

3.2 Dílčí cíle

- Zjistit relativní četnost chyb v jednotlivých položkách nástroje pro hodnocení mechaniky dopadu (Landing Error Scoring System – LESS)
- Posoudit změny celkového skóre LESS v průběhu jednoho roku

3.3 Výzkumná otázka

Jsou relativní četnosti chyb v našem souboru srovnatelné s údaji publikovanými tvůrci nástroje LESS (Padua et al., 2009)?

Zvyšuje se vlivem kumulované únavy hodnota LESS v průběhu soutěžního období?

4 Metodika

Diplomová práce vznikla v rámci projektu grantové agentury České Republiky č. GA16-13750S s názvem „Kumulativní efekt únavy na neuromuskulární řízení kolene a riziko zranění u mladých sportovců během růstu a zrání“, který byl schválen etickou komisí Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Zákonní zástupci všech měřených osob podepsali informovaný souhlas s měřením.

4.1 Charakteristika souboru

Data byla použita ze souboru 26 hráčů z fotbalového klubu SK Sigma Olomouc, hrajících žákovskou ligu. Z toho bylo 16 hráčů ve věkové kategorii U14 ve věku $13,3 \pm 0,4$ let, s tělesnou výškou $162,5 \pm 8,2$ cm a hmotností $48,5 \pm 10,2$ kg. Zbýlých 10 hráčů bylo ve věkové kategorii U16 ve věku $15,5 \pm 0,3$ let, s tělesnou výškou $175,9 \pm 7,3$ cm a hmotností $65,4 \pm 8,7$ kg.

4.2 Metoda

K hodnocení mechaniky dopadu byl použit nástroj pro hodnocení mechaniky dopadu Landing Error Scoring System (LESS), který obsahuje 17 položek a byl navržen Paduou et al. (2009).

Pro záznam dopadu byly použity dvě videokamery s vysokým rozlišením SONY HXR-MC2000 a SONY HXR-NX5E (SONY Corporation, Tokio, Japonsko; frekvence 25 Hz), které byly umístěny na stativěch v dostatečné vzdálenosti od vyznačené přistávací plochy ve frontální a sagitální rovině, tak aby byla viditelná celá měřená osoba při dopadu.

4.3 Průběh měření

Nejdříve všechny měřené osoby absolvovaly skupinové rozcvičení. Následovalo individuální protažení a několik zkušebních skoků.

Dále byly měřené osoby seznámeny s úkolem. Obdrželi informaci, že před odrazem mají provést jeden krok (libovolnou, ale při každém pokusu stejnou končetinou) a následně se odrazit co nejvýš a nejdál a dopadnout na obě nohy. Účastníci provedli 4 pokusy skoku (jeden zkušební pokus a tři měřené pokusy).

4.3.1 Zpracování dat

Doskoky v jednotlivých pokusech na videozáznamu byly analyzovány s využitím programů Avidemux 2. 6. 14 a ImageJ. Nejdříve byly vybrány snímky ve specifických polohách jako počáteční kontakt, maximální flexe v koleni. Poté byly ze snímků a videa hodnoceny jednotlivé položky škály LESS. Položky 1 až 15 byly ohodnoceny 0 body, pokud záznam nevykazoval rizikový doskok a 1 bodem, pokud záznam doskoku vykazoval rizikový doskok. U položek 16 a 17 byla stupnice tříbodová (0, 1 a 2 body). Body ze všech položek byly následně sečteny a tím získáno celkové skóre. Všechny údaje byly zaznamenávány v programu Microsoft Excel. Pro jednotlivé položky byly vypočítány základní statistické charakteristiky:

Statistické zpracování bylo provedeno v programu Statistica (verze 13, TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, USA). Pro celkové skóre byly vypočítány základní statistické charakteristiky (průměr, medián, minimum, maximum, dolní kvartil, horní kvartil, směrodatná odchylka). Pro ověření normality rozložení dat byl použit Shapiro-Wilks test. Data neměla normální rozložení, a tedy byly použity neparametrické testy. Míra shody mezi různými pokusy v rámci jednoho měření byla zjišťována pomocí Spearmanova korelačního koeficientu. Pro porovnání hodnot mezi různými měřeními byl použit párový Wilcoxonův test. Hladina statistické významnosti byla stanovena $\alpha = 0,05$. Věcná významnost byla posouzena pomocí koeficientu $r = Z / \sqrt{N}$, kde Z je výsledné skóre Wilcoxonova testu a N je počet vzorků. Interpretace byla následující: $0,1 \leq r < 0,3$ malý efekt, $0,3 \leq r < 0,5$ střední efekt a $0,5 \leq r$ velký efekt.

5 Výsledky

Relativní četnost výskytu jednotlivých chyb v doskoku v rámci úvodního měření a porovnání s výsledky od Padua et al. (2009) jsou uvedeny v Tabulce 2.

U jedné z položek byla relativní četnost výskytu chyby rovna 0 %. Tato četnost se týkala změny velikosti flexe v kyčelním kloubu. Flexe v kyčli se u každé testované osoby zvětšila od prvního kontaktu se zemí po maximální flexi v koleni. U desáté položky měl zvýšenou vnitřní rotaci chodidla pouze jeden testovaný. Na první pohled se liší četnosti u některých položek mezi kategoriemi U14 a U16. Vzhledem k velikosti souboru však nelze tyto rozdíly přeceňovat, protože zde mohly hrát roli individuální charakteristiky zkoumaných hráčů. Při porovnání s hodnotami studie Padua et al. (2009) naši testovaní hráči u druhé položky častěji neměli při prvním kontaktu se zemí flexi v kyčlích, u páté položky měli častěji valgózní postavení při prvním kontaktu se zemí, u šesté položky častěji dopadali s lateroflexí trupu, u sedmé položky častěji dopadli do širšího postavení dolních končetin a u dvanácté položky častěji dopadli s menší změnou flexe v kolenním kloubu. Naopak všichni u třinácté položky změnili flexi v kyčelním kloubu od momentu prvního kontaktu se zemí v průběhu dopadu, a také u čtrnácté položky častěji došlo ke změně velikosti flexe trupu.

Poslední dvě položky hodnotí celkový pohyb a vyjadřují obecné vnímání kvality doskoku. Hodnotí se ze sagitální roviny a položka 17. navíc i z frontální roviny. V našem měření byla většina doskoků hodnocena jako průměrná. Rozdíly v hodnocení mohou být částečně ovlivněny subjektivním posouzením hodnotícího.

Tabulka 2

Relativní četnost výskytu chybného provedení položek LESS

Položky LESS	U14	U16	Všichni	Padua et al. (2009)
1. Velikost flexe v koleni při prvním kontaktu	85,0	78,3	81,7	72,2
2. Velikost flexe v kyčli při prvním kontaktu	15,0	11,8	13,5	1,0
3. Velikost flexe trupu při prvním kontaktu	25,0	51,7	38,3	26,6

4. Velikost plantární flexe kotníku při prvním kontaktu	23,3	3,3	13,3	18,1
5. Valgózní postavení kolene při prvním kontaktu	43,3	38,3	40,8	15,8
6. Laterální flexe trupu při prvním kontaktu	33,3	45,0	39,2	7,0
7. Široké postavení nohou	31,7	25,0	28,3	11,9
8. Úzké postavení nohou	23,3	8,3	15,8	13,0
9. Vnější rotace	5,0	28,3	16,7	13,7
10. Vnitřní rotace	1,7	0,0	0,8	2,2
11. Symetrickita dopadu nohou při prvním kontaktu	13,3	5,0	9,2	7,0
12. Změna velikosti flexe v kolenním kloubu	20,0	31,7	25,8	10,4
13. Změna velikosti flexe v kyčelním kloubu	0,0	0,0	0,0	10,0
14. Změna velikosti flexe trupu	31,7	11,7	21,7	47,2
15. Valgózní postavení kolene při jejich nejmenší vzdálenosti	51,7	31,7	41,7	54,0
16. Kloubní posun	65	45	55	15,8
17. Celkový posun	90	85	87,5	15,6

V Tabulce 3 nalezneme porovnání třech měření během jedné sezóny u kategorie U14. Zde se mechanika dopadu zlepšila, avšak rozdíl nebyl statisticky významný. Nejlepší (nejnižší) skóre LESS mezi všemi měřeními osobami bylo 3, což podle Padua et al. (2009) můžeme hodnotit jako excelentní doskok. Nejvyšší zjištěné hodnoty LESS (nejvyšší riziko zranění ACL) byly 10, což řadíme mezi špatné doskoky. Průměrná hodnota skóre LESS (6,5 nebo 7,2) je podle výše zmíněných autorů také řazena do kategorie špatné provedení doskoku.

Tabulka 3

Porovnání měření během sezóny U14

	Průměr	Medián	Min.	Max.	Dolní kvartil	Horní kvartil	Směrodatná odchylka
1. měření	7,2	7	5	10	6	8	1,5
2. měření	6,5	7	3	10	4	8	2,3
3. měření	6,5	7	3	9	6	7	1,5

V Tabulce 4 na následující straně nalezneme porovnání třech měření během jedné sezóny u kategorie U16. Zde mechanika dopadu zůstala na podobné úrovni, takže se statisticky významně nezlepšila ani nezhoršila. Nejlepší (nejnižší) skóre LESS bylo zde zaznamenáno na hodnotě 2 (excelentní doskok) a nejhorší (nejvyšší) skóre LESS zde bylo naměřeno 8 (špatný doskok). V průměru hráči dosáhli v prvním a druhém měření průměrných hodnot a ve třetím měření dosáhli špatných hodnot.

Tabulka 4

Porovnání měření během sezóny U16

	Průměr	Medián	Min.	Max.	Dolní kvartil	Horní kvartil	Směrodatná odchylka
1. měření	6,0	6	4	8	4,5	7,5	1,7
2. měření	5,2	6	2	7,5	3,5	6,75	2,2
3. měření	6,6	7	5	8	5,5	7,5	1,2

V Tabulce 5 nalezneme porovnání třech měření během jedné sezóny u obou věkových kategorií dohromady. Zde mechanika dopadu zůstala na podobné úrovni, takže se statisticky významně nezlepšila ani nezhoršila. Nejlepší (nejnižší) skóre LESS bylo zde zaznamenáno na hodnotě 2 (excelentní doskok) a nejhorší (nejvyšší) skóre LESS zde bylo naměřeno 10 (špatný doskok). V průměru hráči dosáhli špatných hodnot v prvním a druhém měření a průměrných hodnot dosáhli ve druhém měření.

Tabulka 5

Porovnání měření během sezóny

	Průměr	Medián	Min.	Max.	Dolní kvartil	Horní kvartil	Směrodatná odchylka
1. měření	6,8	7	4	10	5	8	1,6
2. měření	6,0	6,5	2	10	4	7,5	2,3
3. měření	6,6	7	3	9	6	7	1,4

Porovnání jednotlivých měření u věkové kategorie U14 najdeme v Tabulce 6. Efekt věcné významnosti je malý ($r = 0,043$; $r = 0,056$; $r = 0,016$). Žádný z rozdílů mezi měřeními nebyl statisticky významný.

Tabulka 6

Porovnání mezi jednotlivými testováními U14

	T	Z	P hodnota	r
Měření 1 vs 2	25,5	1,059027	0,290	0,043
Měření 1 vs 3	15	1,274118	0,203	0,056
Měření 2 vs 3	56	0,227185	0,820	0,016

Porovnání jednotlivých měření u věkové kategorie U16 najdeme v Tabulce 7. Efekt věcné významnosti je malý ($r = 0,066$; $r = 0,076$; $r = 0,079$). Žádný z rozdílů mezi měřeními nebyl statisticky významný.

Tabulka 7

Porovnání mezi jednotlivými testováními U16

	T	Z	P hodnota	r
Měření 1 vs 2	9	0,845154	0,398	0,066
Měření 1 vs 3	6,5	0,838628	0,402	0,076
Měření 2 vs 3	6,5	1,610322	0,107	0,079

Porovnání jednotlivých měření u obou věkových kategorií najdeme v Tabulce 8. Efekt věcné významnosti je malý ($r = 0,031$; $r = 0,024$; $r = 0,022$). Žádný z rozdílů mezi měřeními nebyl statisticky významný.

Tabulka 8

Porovnání mezi jednotlivými testováními

	T	Z	P hodnota	r
Měření 1 vs 2	61,5	1,348113	0,178	0,031
Měření 1 vs 3	57	0,568796	0,569	0,024
Měření 2 vs 3	105	1,003693	0,316	0,022

Dále se porovnalý výsledky prvního a posledního (čtvrtého) měření. V tabulkách, které jsou níže můžeme vidět, jak se výsledky mění v důsledku růstu a zraní u hráčů s ročním odstupem.

Porovnání výsledků LESS s ročním odstupem u věkové kategorie U14. V Tabulce 9 můžeme pozorovat u tohoto souboru zlepšení mechaniky dopadu. V průměru podle skóre LESS dosáhli při prvním měření špatných doskoků a při posledním měření dosáhli průměrných doskoků podle Padua et al. (2009). V Tabulce 10 je rozdíl mezi prvním a posledním měřením statisticky významný.

Tabulka 9

Porovnání výsledků U14 s ročním odstupem

	Průměr	Medián	Min	Max	Dolní kvartil	Horní kvartil	Směrodatná odchylka
1. měření	7,2	7	5	10	6	8	1,4
4. měření	5,2	5	3	8	5	6	1,4

Tabulka 10

Porovnání výsledků U14 s ročním odstupem

	T	Z	p hodnota	r
Měření 1 vs 4	0	2,66557	0,007686	0,091

Porovnání výsledků LESS s ročním odstupem u věkové kategorie U16. V Tabulce 11 pozorujeme zhoršení mechaniky dopadu, které není statisticky významné. V průměru podle skóre LESS dosáhli při prvním měření průměrných doskoků a při posledním měření dosáhli špatných doskoků podle Padua et al. (2009). V Tabulce 12 není efekt mezi prvním a posledním měřením statisticky významný.

Tabulka 11

Porovnání výsledků U16 s ročním odstupem

	Průměr	Medián	Min	Max	Dolní kvartil	Horní kvartil	Směrodatná odchylka
1. měření	5,6	5	4	8	4	7	1,7
4. měření	6,2	6	4	9	5	7	1,6

Tabulka 12

Porovnání výsledků U16 s ročním odstupem

	T	Z	p hodnota	r
Měření 1 vs 4	6	0,943456	0,345448	0,081

Porovnání výsledků LESS s ročním odstupem u obou věkových kategorií dohromady. V Tabulce 13 pozorujeme zlepšení mechaniky dopadu, avšak není statisticky významné. V průměru podle skóre LESS dosáhli při prvním měření špatných doskoků a při posledním měření dosáhli průměrných doskoků. V Tabulce 14 není efekt mezi prvním a posledním měřením statisticky významný.

Tabulka 13

Porovnání výsledků s ročním odstupem

	Průměr	Medián	Min	Max	Dolní kvartil	Horní kvartil	Směrodatná odchylka
1. měření	6,5	7	4	10	5	8	1,7
4. měření	5,6	5	3	9	5	7	1,6

Tabulka 14

Porovnání výsledků s ročním odstupem

	T	Z	p hodnota	r
Měření 1 vs 4	31	1,647089	0,099541	0,043

6 Diskuze

Objektivní zhodnocení rizika bezkontaktního zranění předního zkříženého vazů je důležitý krok v prevenci zranění u všech sportovců. Podstatné je zaměřit se na potenciálně řešitelné problémy, tedy rizikové faktory, které jsou ovlivnitelné. Omezení takových faktorů může přispět ke snížení četnosti zranění v kolektivních sportech. To potvrzují Chaudhari et al. (2008) i Whittaker et al. (2015). Základním předpokladem je stanovení příčin a mechanismu zranění a následná tvorba preventivních programů, které potenciálně zabraňují obnovení zranění (Hootman, Dick, & Agel, 2007).

Ekstrand, Häggglund, & Waldén, (2011) dodávají, že ke snížení rizika zranění je žádoucí sledování únavy. Podobně je velmi důležité identifikovat vhodný poměr mezi zátěží a regenerací pro snížení nahromaděné únavy. Ukázalo se, že zvýšené množství tréninkových hodin sice souvisí s vyšší výkonností týmu, avšak je spojeno také s vyšším rizikem úrazu. V profesionálním sportu je poranění ACL spojeno s nejdelším nedobrovolným přerušením tréninku. Sportovec tak ztrácí kontakt s konkurencí a v kolektivních sportech navíc i sociální kontakt s týmem. Fotbal, kterému se věnují naše testované osoby patří spolu s rugby, basketbalem a lyžováním mezi sporty s vysokým rizikem zranění předního zkříženého vazů (Hewett et al., 2005).

K posouzení rizika zranění ACL jsou využívány různé nástroje. Jejich cílem je identifikovat jedince s vyšším rizikem zranění. Někteří autoři doporučují hodnocení tuhosti dolní končetiny. Podle nich hraje klíčovou roli v dynamické stabilitě kolenního kloubu. Tuhost totiž představuje odolnost kloubu vůči zátěži prostřednictvím rozsahu pohybu (Needle et al., 2014). Na základě výsledků některých studií (Lloyd, Oliver, Hughes, & Williams, 2012; Ramirez-Campillo et al., 2018) se předpokládá, že zvýšené hodnoty tuhosti dolních končetin na konci soutěžní sezóny jsou spojeny s tréninkovým procesem, který pravidelně obsahoval plyometrická cvičení. Dalším důvodem mohou být vývojové změny.

U mechanismů LS a RSI se potvrdil významný vliv věku u mladých sportovců. Zjištění podporují předpoklad, že tuhost dolních končetin je věkově specifická a během dospívání se postupně zvyšuje, protože sportovci se s dospíváním stávají spolehlivějšími na dopředné mechanismy (Oliver, Lloyd, & Whitney, 2015).

Drop-jump test slouží k hodnocení schopnosti kontrolovaně řídit dolní končetiny při doskoku. Padua et al. (2009) využil tohoto testu pro vytvoření nástroje Landing Error Scoring System, který hodnotí mechaniku dopadu v sagitální i frontální rovině. Tito

autoři prokázali, že LESS je validní klinický nástroj pro hodnocení biomechanických vlastností doskoku a je vhodný k identifikaci jedince s vysokým rizikem zranění ACL. Tento nástroj byl využit i v projektu, jehož součástí je tato diplomová práce. Projekt se zabývá vlivem únavy na neuromuskulární kontrolu kolene a riziko zranění u mladých sportovců během růstu a zrání. Metoda LESS je v projektu použita k rozboru doskoku u všech testovaných a výsledky jsou interpretovány podle Padua et al. (2009) a Padua et al. (2015).

Při interpretaci výsledků analýzy LESS bychom měli vzít v úvahu, že nervosvalová únava dolních končetin může zvýšit riziko poranění ACL a potenciálně může zvýšit skóre LESS (Borotikar, Newcomer, Koppes, & McLean, 2007; Padua et al., 2006). Navzdory tomu, že autoři jsou opatrní ohledně použití jediného cut-off skóre. Hodnoty kolem 6,0 - 7,0 naznačují relativně špatnou mechaniku dopadu, což by mělo být zohledněno v budoucím tréninku, aby se snížilo riziko zranění ACL. Během sezóny byly u věkové kategorie U14 naměřeny hodnoty LESS 6,7 v průměru, což je dle Padua et al. (2009) hodnoceno jako špatný doskok. U věkové kategorie U16 se tyto hodnoty pohybovali na 5,9 v průměru, což je hodnoceno jako průměrný doskok.

Padua et al. (2009) našli u svého souboru nejčastěji chyby v menší flexi v kolenním a kyčelním kloubu a valgózní postavení kolen. Nejčastější chyby našeho souboru z úvodního měření byly také menší flexe v koleni při prvním kontaktu v zastoupení 81,7 %. Dále bylo výraznější zastoupení u valgózního postavení kolen v zastoupení 40,8 % při prvním kontaktu a v zastoupení 41,7 % při jejich nejmenší vzdálenosti. V tomto ohledu můžeme souhlasit s Paduou et al. (2009), že u špatných dopadů je velký výskyt valgózního postavení kolen. Naši hráči ve srovnání s Paduou et al. (2009) lépe zapojili kyčelní kloub, který zároveň souvisí s lepší změnou ve velikosti flexí trupu.

Tak jako ve studiích zde uvedených, tak i v našem souboru jsou hodnoty skóre LESS nevýznamně nižší (lepší) u starších skupin hráčů. Z výsledků vyplývá, že se u mladší testované skupiny U14 s ročním odstupem měření zlepšil mechanismus doskoku v průměru o 2,0 hodnoty skóre LESS. Tyto nižší hodnoty mohou naznačovat lepší biomechanickou kontrolu při přistávacích úlohách, což může být spojeno s lepší odolností proti únavě v důsledku tréninkového věku, vývojovými změnami, stabilnějšími dovednostmi, znalostí testu, silou a kondičním tréninkem (Lehnert et al., 2019). V případě svalové síly je důležité, aby její nárůst nebyl automaticky podmíněn zvětšením průřezu svalových vláken, ale zejména změnami v motorickém řízení (Malina, 2006), kdy dochází

ke zlepšení mezisvalové a intramuskulární koordinace (Kenney, Wilmore, & Costill et al., 2021).

Podstatné je správné vysvětlení výsledků trenérům i samotným hráčům. Nepřesná interpretace by mohla způsobit obavy ze zranění nebo také nechuť ke sportu. Pohybová aktivita je v dětství velice důležitá, protože předpovídá míru tělesné aktivity i v dospělosti. Pohybová aktivita navíc snižuje riziko chronických onemocnění jako jsou kardiovaskulární onemocnění, hypertenze, diabetes mellitus, osteoporóza, úzkost a deprese (Martinková, 2013). Pohybová aktivita je velmi úzce spojena se zdravým životním stylem a je to jedna z nejlepších cest, jak být sám se sebou spokojený. To i přes rizika, která jsou se sportem spojena. Nic se však nesmí přehánět, protože spousta nežádoucích účinků sportu je zapříčiněna přetrénováním a přetížením organismu.

Zajímavé je, že spolehlivost celkového skóre LESS byla podle přehledové studie od Hanzlíkové a Hébert-Losier (2020) odvozena od nezraněných sportovců s průměrným věkem mezi 15 a 28 lety. Ačkoli byl LESS použit i u mladších jedinců, spolehlivosti napříč těmito skupinami populace není potvrzena. Kromě toho bylo zjištěno, že některé jednotlivé položky ve skóre LESS jsou méně spolehlivé než jiné (Onate, Cortes, Welch, & Van Lunen, 2010). Konkrétně nebyla zjištěna významná shoda mezi hodnotiteli pro flexi kolena a trupu při prvním kontaktu se zemí, dále byla zaznamenána pouze mírná shoda při hodnocení celkového provedení. Vzhledem k tomu, že flexe kolena během doskoku, doskoky s menší flexí kotníku, kolena, kyčle a trupu jsou klíčovými rizikovými faktory pro výskyt poranění kolene (Leppänen et al., 2017), z toho důvodu je nedostatek shody znepokojivý. Přesné určení velikostí úhlů z vizuálních pozorování je náročné, což může vysvětlit nižší spolehlivost úhlu flexe kolene u položek, které se spoléhají na první kontakt se zemí. Navíc i při velké pečlivosti vyhodnocovatele, může být hodnocení ovlivněno skutečností, že první snímek z videa, kdy je končetina v kontaktu s podložkou není u všech zaznamenán ve stejném okamžiku. Položka celkového dojmu je subjektivní a dojem vynikajícího, průměrného a špatného dopadu se může mezi hodnotiteli lišit. Jedním z řešení by mohlo být použití softwaru pro analýzu videa k objektivnímu posouzení položek, aby se snížila subjektivní povaha položek. Aby se zkrátila doba hodnocení a zlepšila se konzistentnost hodnocení LESS, byla nedávno vyvinuta automatická kvantifikace LESS pomocí technologie snímání pohybu bez markerů (Dar, Yehiel, & Cale'Benzoer, 2018).

Hanzlíková a Hébert-Losier (2020) potvrzují, že nejčastěji řešené rizikové faktory související s poraněním ACL zahrnují zvýšený úhel valgozity, kolenního kloubu a

zvýšenou sílu dopadu s propnutými kolena. Padua et al. (2009) spojovali špatné skóre LESS se sníženými úhly flexe kolena, kyčle a zvětšenými valgózními úhly kolene. Onate, Cortes, Welch, & Van Lunen, (2010) také uvádí, že úhly je obtížné vizuálně odhadnout. Malý kinematický rozdíl (např. úhel kolena 29° = přítomná chyba; úhel kolena 30° = správné provedení) ve výkonu může mít za následek špatnou shodu mezi klinickým hodnocením LESS a hodnocením na základě kinematické analýzy. Výše zmínění autoři navrhli vytvořit rozsah přijatelných úhlových hodnot (např. úhel kolena při prvním kontaktu se zemí mezi 25° až 30°), aby se zlepšila validita bodování. Skutečnost, že většina klíčových faktorů pro poranění ACL měla střední a vynikající shodu, podporuje LESS jako platný screeningový nástroj pro hodnocení biomechaniky dopadu.

Dvě studie zkoumaly prediktivní hodnotu LESS pro výskyt poranění ACL a uvedly nejednoznačné výsledky. Padua et al. (2015) pozorovali 829 elitních mladých fotbalistů s průměrným věkem $13,9 \pm 1,8$ let, z nichž utrpělo 7 účastníků během 2,5letého období bezkontaktní poranění ACL. Na základě dat bylo identifikováno 5 chyb jako optimální mez pro rozlišení mezi sportovci s nízkým a vysokým rizikem poranění ACL. Studie provedená Smithem et al. (2012) hodnotila populaci vysokoškoláků a středoškolských sportovců s průměrným věkem $18,3 \pm 2,0$ let. Studie trvala 3 roky a autoři nenašli žádný významný vztah mezi skóre LESS a rizikem poranění ACL. Nedostatek shody v prediktivní hodnotě LESS mezi studii lze vysvětlit rozdíly v populaci, věkem a sportovní činností. Navíc Smith et al. (2012) vyloučili sportovce s anamnézou poranění ACL, zatímco Padua et al. (2015) ne. Například studie Jamese et al. (2016) nezjistila žádný významný rozdíl mezi účastníky po zranění nebo bez zranění.

LESS byl v zásadě vyvinut jako nástroj pro screening rizika zranění, který identifikuje špatnou biomechanickou kontrolu, což je rizikový faktor pro bezkontaktní, spíše než kontaktní poranění dolních končetin. Na základě současných vědeckých důkazů zůstává prediktivní hodnota LESS pro výskyt bezkontaktního poranění dolních končetin nejistá. K potvrzení vztahu mezi skóre LESS a incidencí bezkontaktního poranění ACL a také výskytem jiných bezkontaktních poranění dolních končetin jsou zapotřebí rozsáhlejší studie.

Důležitými omezeními jsou testovaná populace a způsob hodnocení. Tyto proměnné se napříč studii lišily, proto i výpočty celkového skóre LESS jsou různé. Charakteristiky populace jako jsou například věk, pohlaví a úroveň aktivity mohou významně ovlivnit skóre LESS (Smith et al., 2012).

7 Závěr

U hráčů během sezóny pozorujeme mírné zlepšení mechaniky dopadu. Nejčastější chyby, které se vyskytovaly v našem souboru byly nedostatečná flexe v kolenu při prvním kontaktu se zemí (81,7 %) a valgózní postavení kolen při jejich nejmenší vzdálenosti (41,7 %) i valgózní postavení kolen při prvním kontaktu se zemí (40,8 %). Vyšší relativní četnost byla také zaznamenána u lateroflexi trupu při prvním kontaktu (39,2 %) a širším postavení nohou při dopadu (28,3 %).

LESS je spolehlivý screeningový nástroj, avšak je zapotřebí další práce na zlepšení platnosti LESS pro zachycení pohybu a potvrzení jeho prediktivní platnosti pro poranění ACL a dalších bezkontaktních poranění dolních končetin.

Naše výsledky naznačují, že skóre LESS je ovlivněno věkem. Mladší hráči mají horší parametry mechaniky dopadu než starší hráči, což je může vystavit riziku zranění. Nižší hodnoty pozorované ve starší věkové skupině mohou naznačovat větší biomechanickou kontrolu během dopadů. Starší jedinci mají také vyšší tréninkový věk.

Srovnání nervosvalové kontroly a mechaniky doskoku u sledovaných věkových skupin potvrdilo poznatky některých předchozích studií, které uváděly postupné zlepšování charakteristik dopadu v průběhu dospívání spojené s růstem a zráním.

8 Souhrn

K dosažení vrcholového výkonu ve sportu je nutný dlouhodobý věkově přiměřený trénink pro rozvoj výkonnosti a snížení rizika zranění. Cílem výzkumu v této oblasti by tedy mělo být přispět k aktuálním poznatkům o změnách rizikových faktorů zranění spojených se svalovou únavou u elitních mládežnických fotbalistů zařazených do systému přípravy talentované mládeže v České republice.

Fotbal patří mezi sporty s největším rizikem bezkontaktního zranění předního zkříženého vazy kolene. Se zraněním se pojí neschopnost podávat sportovní výkon a v budoucnu také horší kvalita života.

Aby se zabránilo hromadění únavy v průběhu soutěžní sezóny a zvýšenému riziku zranění u mladých fotbalistů, mělo by být hodnocení únavy a zotavení součástí monitorování během ročního tréninkového cyklu. Je důležité vyvinout a používat nenákladné a snadno dostupné techniky s ověřenou platností a spolehlivostí. Trenéři musí porozumět přirozenému vývoji určitých svalových a neuromuskulárních parametrů, aby růst a zrání byly zohledněny v sezónních změnách. Tyto přirozeně se vyskytující změny mohou v určité části zakrývat účinky související s únavou v průběhu soutěžní sezóny a trenéři musí mít znalosti, aby to mohli zohlednit při plánování zátěže na celou sezónu.

Cílem práce bylo pomocí LESS zhodnotit změny mechaniky dopadu u mladých fotbalistů, a tak identifikovat jedince s vysokým rizikem zranění ACL. Tato metoda byla použita i při hodnocení rizika bezkontaktního zranění ACL u 26 fotbalistů ve věkových kategoriích U14 a U16. U hráčů se nejčastěji objevila nedostatečná flexe v koleni při prvním kontaktu se zemí a valgózní postavení kolen. Relativní četnost chyby flexe v koleni byla 81,7 % a u valgózního postavení kolen při prvním kontaktu se zemí 40,8 %. V průběhu testovaného období došlo u hráčů ke zlepšení doskoku. U hráčů věkové kategorie U14 došlo ke zlepšení doskoku s ročním odstupem dokonce o 2,0 hodnoty LESS. To byl také jediný statisticky významný rozdíl, který se v práci zaznamenal. Vzhledem k negativním dopadům tohoto zranění na hráče je vhodné provádět testování LESS u mladých sportovců.

9 Summary

To achieve top performance in sports, long-term age-appropriate training is needed to develop performance and reduce the risk of injury. The aim of research in this area should therefore be to contribute to current knowledge about changes in risk factors for injuries associated with muscle fatigue in elite youth soccer players included in the system of training talented youth in the Czech Republic.

Football is one of the sports with the greatest risk of non-contact injury to the anterior cruciate ligament of the knee. Injuries are associated with an inability to perform well and a worse quality of life in the future.

In order to avoid the accumulation of fatigue during the competition season and the increased risk of injury to young footballers, fatigue assessment and recovery should be part of the monitoring during the annual training cycle. It is important to develop and use inexpensive and readily available techniques with proven validity and reliability. Trainers must understand the natural evolution of certain muscular and neuromuscular parameters in order for growth and maturation to be reflected in seasonal changes. These naturally occurring changes may, to some extent, mask the effects of fatigue during the competition season, and coaches must have the knowledge to take this into account when planning the load for the entire season.

The aim of the work was to use LESS to evaluate changes in the mechanics of impact in young football players, and thus identify individuals with a high risk of ACL injuries. This method was also used to assess the risk of ACL contactless injury in 26 footballers in the U14 and U16 age categories. Insufficient flexion in the knee during the first contact with the ground and valgus position of the knees occurred most frequently in the players. The relative frequency of flexion error in the knee was 81.7% and in the valgus position of the knees at the first contact with the ground was 40.8%. During the test period, the players improved their rebounds. For players in the U14 age category, the rebound with an annual gap has improved by as much as 2.0 LESS values. This was also the only statistically significant difference noted in the work. Due to the negative effects of this injury on players, it is appropriate to perform LESS testing on young athletes.

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. *The American journal of sports medicine*, 34(3), 370-374.
- Al Attar, W. S. A., Soomro, N., Pappas, E., Sinclair, P. J., & Sanders, R. H. (2016). How effective are F-MARC injury prevention programs for soccer players? a systematic review and meta-analysis. *Sports medicine*, 46(2), 205-217.
- Alaphilippe, A., Mandigout, S., Ratel, S., Bonis, J., Courteix, D., & Duclos, M. (2012). Longitudinal follow-up of biochemical markers of fatigue throughout a sporting season in young elite rugby players. *The Journal of strength & conditioning research*, 26(12), 3376-3384.
- Alentorn-Geli, E., Myer, G. D., Silvers, H. J., Samitier, G., Romero, D., Lázaro-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 surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 17(7), 705-729.
- Andersson, H. M., Raastad, T., Nilsson, J., Paulsen, G. Ø. R. A. N., Garthe, I. N. A., & Kadi, F. (2008). Neuromuscular fatigue and recovery in elite female soccer: effects of active recovery. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(2), 372-380.
- Arendt, E. A., Agel, J., & Dick, R. (1999). Anterior cruciate ligament injury patterns among collegiate men and women. *Journal of athletic training*, 34(2), 86.
- Armstrong, N., & Welsman, J. (1997). *Young people and physical activity*. Oxford University Press, USA.
- Arnason, A., Sigurdsson, S. B., Gudmundsson, A., Holme, I., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2004). Risk factors for injuries in football. *The American journal of sports medicine*, 32(1_suppl), 5-16.
- Assaiante, C., Mallau, S., Viel, S., Jover, M., & Schmitz, C. (2005). Development of postural control in healthy children: a functional approach. *Neural plasticity*, 12(2-3), 109-118.
- Bahr, R., Bizzini, M., Fuller, C., Graf-Baumann, T., Helsen, W., Kirkendall, D., ... Peterson, L. (2008). *Manuál fotbalové medicíny*. (J. Dvořák & A. Junge, Eds.) (1st ed.). Olympia

- Bamaç, B., Çolak, T., Özbek, A., Çolak, S., Cinel, Y., & Yenigün, Ö. (2008). Isokinetic performance in elite volleyball and basketball players. *Kinesiology, 40*(2).
- Bangsbo, J. (2007). *Aerobic and anaerobic training in Soccer: fitness training in soccer I*. Copenhagen: Institute of Exercise and Sport Sciences.
- Bangsbo, J., Iaia, F. M., & Krstrup, P. (2007). Metabolic response and fatigue in soccer. *International journal of sports physiology and performance, 2*(2), 111-127.
- Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of sports sciences, 24*(07), 665-674.
- Beutler, A. I., Sarah, J., Marshall, S. W., Padua, D. A., & Boden, B. P. (2009). Muscle strength and qualitative jump-landing differences in male and female military cadets: The jump-ACL study. *Journal of sports science & medicine, 8*(4), 663.
- 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*(3), 201-210.
- Bittencourt, N. F., Meeuwisse, W. H., Mendonça, L. D., Nettel-Aguirre, A., Ocarino, J. M., & Fonseca, S. T. (2016). Complex systems approach for sports injuries: moving from risk factor identification to injury pattern recognition—narrative review and new concept. *British journal of sports medicine, 50*(21), 1309-1314.
- Blackburn, J. T., Bell, D. R., Norcross, M. F., Hudson, J. D., & Engstrom, L. A. (2009). Comparison of hamstring neuromechanical properties between healthy males and females and the influence of musculotendinous stiffness. *Journal of Electromyography and Kinesiology, 19*(5), e362-e369.
- Bloomfield, J., Polman, R., & O'Donoghue, P. (2007). Physical demands of different positions in FA Premier League soccer. *Journal of sports science & medicine, 6*(1), 63.
- Boden, B. P., Torg, J. S., Knowles, S. B., & Hewett, T. E. (2009). Video analysis of anterior cruciate ligament injury: abnormalities in hip and ankle kinematics. *The American journal of sports medicine, 37*(2), 252-259.
- Borotikar, B. S., Newcomer, R., Koppes, R., & McLean, S. G. (2008). Combined effects of fatigue and decision making on female lower limb landing postures: central and peripheral contributions to ACL injury risk. *Clinical biomechanics, 23*(1), 81-92.

- 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(10), 694-697.
- 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(4), 747-758.
- Bujnovsky, D., Maly, T., Zahalka, F., & Mala, L. (2015). Analysis of physical load among professional soccer players during matches with respect to field position. *Journal of Physical Education and Sport*, 15(3), 569.
- Buzek, M., Altman, Z., Bunc, V., Bursová, M., Janák, V., Kocourek, J., ... & Plachý, A. (2007). *Trenér fotbalu „A“ “UEFA licence*. Praha: Olympia.
- Chappell, J. D., Creighton, R. A., Giuliani, C., Yu, B., & Garrett, W. E. (2007). Kinematics and electromyography of landing preparation in vertical stop-jump: risks for noncontact anterior cruciate ligament injury. *The American journal of sports medicine*, 35(2), 235-241.
- Chaudhari, A. M., Briant, P. L., Bevill, S. L., Koo, S., & Andriacchi, T. P. (2008). Knee kinematics, cartilage morphology, and osteoarthritis after ACL injury. *Medicine and science in sports and exercise*, 40(2), 215-222.
- Chester, V. L., & Jensen, R. K. (2005). Changes in infant segment inertias during the first three months of independent walking. *Dynamic Medicine*, 4(1), 1-4.
- Cohen, R., Mitchell, C., Dotan, R., Gabriel, D., Klentrou, P., & Falk, B. (2010). Do neuromuscular adaptations occur in endurance-trained boys and men?. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 35(4), 471-479.
- Coombs, R., & Garbutt, G. (2002). Developments in the use of the hamstring/quadriceps ratio for the assessment of muscle balance. *Journal of sports science & medicine*, 1(3), 56.
- 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(3), 359-374.
- Cortes, N., Quammen, D., Lucci, S., Greska, E., & Onate, J. (2012). a functional agility short-term fatigue protocol changes lower extremity mechanics. *Journal of sports sciences*, 30(8), 797-805.

- Croisier, J. L., Forthomme, B., Namurois, M. H., Vanderthommen, M., & Crielaard, J. M. (2002). Hamstring muscle strain recurrence and strength performance disorders. *The American journal of sports medicine*, *30*(2), 199-203.
- Croix, M. B. D. S., ElNagar, Y. O., Iga, J., James, D., & Ayala, F. (2015). Electromechanical delay of the hamstrings during eccentric muscle actions in males and females: Implications for non-contact ACL injuries. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *25*(6), 901-906.
- Česák, P. (2011). Porovnání tělesného složení fotbalových hráčů podle hráčského postu.
- Dai, B., Mao, D., Garrett, W. E., & Yu, B. (2014). Anterior cruciate ligament injuries in soccer: Loading mechanisms, risk factors, and prevention programs. *Journal of Sport and Health Science*, *3*(4), 299-306.
- Dallinga, J. M., Benjaminse, A., & Lemmink, K. A. (2012). Which screening tools can predict injury to the lower extremities in team sports?. *Sports medicine*, *42*(9), 791-815.
- Dar, G., Yehiel, A., & Cale'Benzoer, M. (2018). Concurrent criterion validity of a novel portable motion analysis system for assessing the landing error scoring system (LESS) test. *Sports biomechanics*.
- De Ste Croix, M. B., Deighan, M. A., Ratel, S., & Armstrong, N. (2009). Age-and sex-associated differences in isokinetic knee muscle endurance between young children and adults. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, *34*(4), 725-731.
- 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 & science in sports*, *25*(5), e531-e538.
- DeMorat, G., Weinhold, P., Blackburn, T., Chudik, S., & Garrett, W. (2004). Aggressive quadriceps loading can induce noncontact anterior cruciate ligament injury. *The American journal of sports medicine*, *32*(2), 477-483.
- Di Giminiani, R., & Visca, C. (2017). Explosive strength and endurance adaptations in young elite soccer players during two soccer seasons. *PloS one*, *12*(2), e0171734.
- Dotan, R., Mitchell, C., Cohen, R., Gabriel, D., Klentrou, P., & Falk, B. (2013). Child–adult differences in the kinetics of torque development. *Journal of sports sciences*, *31*(9), 945-953.
- Dovalil, J., Choutka, M., Svoboda, B., Hošek, V., Perič, T., Potměšil, J., & Bunc, V. (2009). *Výkon a trénink ve sportu* (3. vyd). Praha: Olympia.

- Dungl, P. (2005). a kol. Ortopedie. 1. vydání.
- Dvorak, J., Junge, A., Derman, W., & Schweltnus, M. (2011). Injuries and illnesses of football players during the 2010 FIFA World Cup. *British journal of sports medicine*, 45(8), 626-630.
- Dvorak, J., Junge, A., Graf-Baumann, T., & Peterson, L. (2004). Football is the most popular sport worldwide. *American journal of sports medicine*, 32(Suppl 1), 3S-4S.
- Ekstrand, J., Häggglund, M., & Waldén, M. (2011). Injury incidence and injury patterns in professional football: the UEFA injury study. *British journal of sports medicine*, 45(7), 553-558.
- Ekstrand, J., Waldén, M., & Häggglund, M. (2016). Hamstring injuries have increased by 4% annually in men's professional football, since 2001: a 13-year longitudinal analysis of the UEFA Elite Club injury study. *British journal of sports medicine*, 50(12), 731-737.
- Emery, C. A., & Meeuwisse, W. H. (2010). The effectiveness of a neuromuscular prevention strategy to reduce injuries in youth soccer: a cluster-randomised controlled trial. *British journal of sports medicine*, 44(8), 555-562.
- Engel-Chorus, D. (2005). *Kolena-cvičením proti bolestem: tréninkové programy k prevenci artrózy, posilování a stabilizaci kolenních kloubů*. Pavel Dobrovský-BETA.
- Espenschade, A. (1947). Motor development. *Review of Educational Research*, 17(5), 354-361.
- Ettlinger, C. F., Johnson, R. J., & Shealy, J. E. (1995). a method to help reduce the risk of serious knee sprains incurred in alpine skiing. *The American journal of sports medicine*, 23(5), 531-537.
- Fajfer, Z. (1990). *Kondiční trénink hráče fotbalu: Rozvoj pohybových schopností*. VI. nákl.
- Fajfer, Z. (2005). *Trenér fotbalu mládeže (6-15 let)*. Praha: Olympia.
- Fialka, C., Bockhorn, G., Weinstabl, R., & Bachl, N. (2001). Regular preventive musculoskeletal check-up of top level juvenile tennis players. *Sport and Medicine Today*, 5, 38-39.
- Fidai, M. S., Okoroha, K., Meldau, J. E., Borowsky, P. A., Meta, F., Lizzio, V. A., ... & Makhni, E. C. (2018). Fatigue increases ACL injury risk in youth athletes: risk assessment study using drop-jump test. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 6(7_suppl4), 2325967118S00074.

- Ford, K. R., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2003). Valgus knee motion during landing in high school female and male basketball players. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(10), 1745-1750.
- 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(6), 815-832.
- Fox, E. J., Moon, H., Kwon, M., Chen, Y. T., & Christou, E. A. (2014). Neuromuscular control of goal-directed ankle movements differs for healthy children and adults. *European journal of applied physiology*, 114(9), 1889-1899.
- Georgoulis, A. D., Ristanis, S., Papadonikolakis, A., Tsepis, E., Moebius, U., Moraiti, C., & Stergiou, N. (2005). Electromechanical delay of the knee extensor muscles is not altered after harvesting the patellar tendon as a graft for ACL reconstruction: implications for sports performance. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 13(6), 437-443.
- Grasgruber, P., & Cacek, J. (2008). *Sportovní geny*. Computer press.
- Greene, W. B. (1996). Genu varum and genu valgum in children: differential diagnosis and guidelines for evaluation. *Comprehensive therapy*, 22(1), 22-29.
- Hamilton, D. (2009). Drop jumps as an indicator of neuromuscular fatigue and recovery in elite youth soccer athletes following tournament match play. *Journal of Australian Strength and Conditioning*, 17(4), 3-8.
- Hame, S. L., Oakes, D. A., & Markolf, K. L. (2002). Injury to the anterior cruciate ligament during alpine skiing: a biomechanical analysis of tibial torque and knee flexion angle. *The American journal of sports medicine*, 30(4), 537-540.
- Hanzlíková, I., & Hébert-Losier, K. (2020). Is the Landing Error Scoring System reliable and valid? a systematic review. *Sports Health*, 12(2), 181-188.
- Hawkins, R. D., Hulse, M. A., Wilkinson, C., Hodson, A., & Gibson, M. (2001). The association football medical research programme: an audit of injuries in professional football. *British journal of sports medicine*, 35(1), 43-47.
- Hazir, T. (2010). Physical characteristics and somatotype of soccer players according to playing level and position. *Journal of Human Kinetics*, 26, 83-95.
- Hewett, T. E. (2000). Neuromuscular and hormonal factors associated with knee injuries in female athletes. *Sports medicine*, 29(5), 313-327.

- Hewett, T. E., Ford, K. R., Hoogenboom, B. J., & Myer, G. D. (2010). Understanding and preventing acl injuries: current biomechanical and epidemiologic considerations-update 2010. *North American journal of sports physical therapy: NAJSPT*, 5(4), 234.
- Hewett, T. E., Myer, G. D., & Ford, K. R. (2004). Decrease in neuromuscular control about the knee with maturation in female athletes. *JBJS*, 86(8), 1601-1608.
- Hewett, T. E., Myer, G. D., & Zazulak, B. T. (2008). Hamstrings to quadriceps peak torque ratios diverge between sexes with increasing isokinetic angular velocity. *Journal of science and medicine in sport*, 11(5), 452-459.
- Hewett, T. E., Myer, G. D., Ford, K. R., Heidt Jr, R. S., Colosimo, A. J., McLean, S. G., ... & Succop, P. (2005). Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *The American journal of sports medicine*, 33(4), 492-501.
- Hirtz, P., & Starosta, W. (2002). Sensitive and critical periods of motor co-ordination development and its relation to motor learning. *Journal of human kinetics*, 7, 19-28.
- Hoff, J., & Helgerud, J. (2004). Endurance and strength training for soccer players. *Sports medicine*, 34(3), 165-180.
- Hootman, J. M., Dick, R., & Agel, J. (2007). Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: summary and recommendations for injury prevention initiatives. *Journal of athletic training*, 42(2), 311.
- Howatson, G. (2010). The impact of damaging exercise on electromechanical delay in biceps brachii. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(3), 477-481.
- Howley, E. T. (2001). Type of activity: resistance, aerobic and leisure versus occupational physical activity. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(6 Suppl), S364-9.
- Hughes, G., & Watkins, J. (2006). a risk-factor model for anterior cruciate ligament injury. *Sports medicine*, 36(5), 411-428.
- Iaia, F. M., Ermanno, R., & Bangsbo, J. (2009). High-intensity training in football. *International journal of sports physiology and performance*, 4(3), 291-306.

- Iga, J., George, K., Lees, A., & Reilly, T. (2009). Cross-sectional investigation of indices of isokinetic leg strength in youth soccer players and untrained individuals. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 19(5), 714-719.
- 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(5), 423-431.
- Issurin, V. B. (2010). New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports medicine*, 40(3), 189-206.
- James, J., Ambegaonkar, J. P., Caswell, S. V., Onate, J., & Cortes, N. (2016). Analyses of landing mechanics in division I athletes using the landing error scoring system. *Sports health*, 8(2), 182-186.
- Jebavý, R., Hojka, V., & Kaplan, A. (2014). *Rozcvičení ve sportu*. Praha: Grada.
- Jebavý, R., Hojka, V., & Kaplan, A. (2017). *Kondiční trénink ve sportovních hrách: na příkladu fotbalu, ledního hokeje a basketbalu*. Praha: Grada Publishing.
- Johnson, R. J., & Coughlin, K. M. (2003). Knee, meniscal biomechanics. In *DeLee and Drez's orthopaedic sports medicine principles and practice* (pp. 1577-1594). Philadelphia (PA): Elsevier Science.
- Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2021). *Physiology of sport and exercise*. Human kinetics.
- Kirkendall, D. T. (2013). *Fotbalový trénink*. Grada Publishing as.
- Knowles, S. B. (2010). Is there an injury epidemic in girls' sports?. *British Journal of Sports Medicine*, 44(1), 38-44.
- Kotzamanidou, M., Michailidis, I., Hatzikotoulas, K., Hasani, A., Bassa, E., & Kotzamanidis, C. (2005). Differences in recovery process between adult and prepubertal males after a maximal isokinetic fatigue task. *Isokinetics and exercise science*, 13(4), 261-266.
- Krosshaug, T., Nakamae, A., Boden, B. P., Engebretsen, L., Smith, G., Slauterbeck, J. R., ... & Bahr, R. (2007). Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball: video analysis of 39 cases. *The American journal of sports medicine*, 35(3), 359-367.
- Kureš, J., Hora, J., Jachimstál, B., Nitsche, J., Skočovský, M., & Zahradníček, J. (2016). *Pravidla fotbalu: platná od 1. 7. 2016*.

- Kureš, J., Hora, J., Legierský, B., Nitsche, J., Skočovský, M., & Zahradníček, J. (2020). Pravidla fotbalu: platná od 1. 8. 2020.
- 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*(1), 29.
- 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*(1), 67-74.
- Lehnert, M., Croix, M. D. S., Šťastný, P., Maixnerová, E., Zaatar, A., Botek, M., ... & Lipinska, P. (2019). *The influence of fatigue on injury risk in male youth soccer*. Palacký University Olomouc.
- Lehnert, M., Psotta, R., Chvojka, P., & De Ste Croix, M. (2014). Seasonal variation in isokinetic peak torque in youth soccer players. *Kinesiology*, *46*(1.), 79-87.
- Leppänen, M., Pasanen, K., Kujala, U. M., Vasankari, T., Kannus, P., Äyrämö, S., ... & Parkkari, J. (2017). Stiff landings are associated with increased ACL injury risk in young female basketball and floorball players. *The American journal of sports medicine*, *45*(2), 386-393.
- Li, G., Most, E., DeFrate, L. E., Suggs, J. F., Gill, T. J., & Rubash, H. E. (2004). Effect of the posterior cruciate ligament on posterior stability of the knee in high flexion. *Journal of biomechanics*, *37*(5), 779-783.
- Lloyd, D. G., Buchanan, T. S., & Besier, T. F. (2005). Neuromuscular biomechanical modeling to understand knee ligament loading. *Medicine and science in sports and exercise*, *37*(11), 1939-1947.
- 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. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *25*(7), 1889-1897.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & Williams, C. A. (2012). The effects of 4-weeks of plyometric training on reactive strength index and leg stiffness in male youths. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *26*(10), 2812-2819.
- Lucci, S., Cortes, N., Van Lunen, B., Ringleb, S., & Onate, J. (2011). Knee and hip sagittal and transverse plane changes after two fatigue protocols. *Journal of science and medicine in sport*, *14*(5), 453-459.

- Malina, R. M. (2006). Weight training in youth-growth, maturation, and safety: an evidence-based review. *Clinical journal of sport medicine*, 16(6), 478-487.
- Marshall, S. W., Padua, D., & McGrath, M. (2007). Incidence of ACL injury. *Understanding and preventing noncontact ACL injuries*. Champaign, IL: *Human Kinetics*, 5-29.
- Martinková, J. (2009). *Poranění kloubů a svalů: diagnostika a léčba, rady pacientům*. Praha: Mladá fronta.
- Martinková, J. (2013). *Sportovní úrazy a přetížení pohybového aparátu sportem: praktický průvodce pro zdravotníky i laiky*. Praha: Mladá fronta.
- Mazzantini, M., & Bombardieri, S. (2013). *Full season academy training program U13-15: 48 sessions (245 practices) from Italian Series "A" Coaches*. London: SoccerTutor.com.
- McLester, J., & St Pierre, P. (2008). Linear motion of the system. *Applied Biomechanics*. Canada: *Yolanda Cossio*, 129-160.
- Miller, R. H. (2003). Knee injuries. *Campbell's operative orthopaedics*, 3, 2182-2199.
- Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D., Bailey, D. A., & Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine and science in sports and exercise*, 34(4), 689-694.
- 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(7), 519-528.
- Morris, R., Emmonds, S., Jones, B., Myers, T. D., Clarke, N. D., Lake, J., ... & 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(4), 272-280.
- Myer, G. D., Ford, K. R., & Hewett, T. E. (2004). Rationale and clinical techniques for anterior cruciate ligament injury prevention among female athletes. *Journal of athletic training*, 39(4), 352.
- Myer, G. D., Ford, K. R., Foss, K. D. B., Liu, C., Nick, T. G., & Hewett, T. E. (2009). The relationship of hamstrings and quadriceps strength to anterior cruciate ligament injury in female athletes. *Clinical journal of sport medicine*, 19(1), 3-8.
- Nagura, T., Dyrby, C. O., Alexander, E. J., & Andriacchi, T. P. (2002). Mechanical loads at the knee joint during deep flexion. *Journal of Orthopaedic Research*, 20(4), 881-886.

- 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 & science in sports*, *24*(5), 737-748.
- Nédélec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S., & Dupont, G. (2012). Recovery in soccer. *Sports medicine*, *42*(12), 997-1015.
- O'Brien, T. D., Reeves, N. D., Baltzopoulos, V., Jones, D. A., & Maganaris, C. N. (2012). Commentary on child-adult differences in muscle activation-A review.
- Oliver, J. L., Lloyd, R. S., & Whitney, A. (2015). Monitoring of in-season neuromuscular and perceptual fatigue in youth rugby players. *European Journal of Sport Science*, *15*(6), 514-522.
- Onate, J., Cortes, N., Welch, C., & Van Lunen, B. (2010). Expert versus novice interrater reliability and criterion validity of the landing error scoring system. *Journal of sport rehabilitation*, *19*(1), 41-56.
- Opar, D. A., Williams, M. D., & Shield, A. J. (2012). Hamstring strain injuries. *Sports medicine*, *42*(3), 209-226.
- Padua, D. A., 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*(3), 294.
- Padua, D. A., DiStefano, L. J., Beutler, A. I., De La Motte, S. J., DiStefano, M. J., & Marshall, S. W. (2015). The landing error scoring system as a screening tool for an anterior cruciate ligament injury-prevention program in elite-youth soccer athletes. *Journal of athletic training*, *50*(6), 589-595.
- Padua, D. A., Marshall, S. W., Boling, M. C., Thigpen, C. A., Garrett Jr, W. E., & Beutler, A. I. (2009). The Landing Error Scoring System (LESS) is a valid and reliable clinical assessment tool of jump-landing biomechanics: the JUMP-ACL study. *The American journal of sports medicine*, *37*(10), 1996-2002.
- Papageorgiou, C. D., Gil, J. E., Kanamori, A., Fenwick, J. A., Woo, S. L., & Fu, F. H. (2001). The biomechanical interdependence between the anterior cruciate ligament replacement graft and the medial meniscus. *The American journal of sports medicine*, *29*(2), 226-231.
- Parkkari, J., Pasanen, K., Mattila, 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(6), 422-426.
- Patrek, M. F., Kernozek, T. W., Willson, J. D., Wright, G. A., & Doberstein, S. T. (2011). Hip-abductor fatigue and single-leg landing mechanics in women athletes. *Journal of athletic training*, 46(1), 31-42.
- Perič, T. (2010). *Sportovní trénink*. Grada Publishing as.
- Perič, T., & Dovalil, J. (2010). *Sportovní trénink*. Praha: Grada Publishing.
- Pernicová, H., Bělková-Preislerová, T., Javůrek, J., Kyrálová, M., Labudová, J., & Strnad, P. (1993). Zdravotní tělesná výchova. *Praha: Fortuna*, 184.
- Peterson, L., Junge, A., Chomiak, J., Graf-Baumann, T., & Dvorak, J. (2000). Incidence of football injuries and complaints in different age groups and skill-level groups. *The American journal of sports medicine*, 28(5_suppl), 51-57.
- Petrášová, S., Zemková, D., & Mařík, I. (2012). Vývoj tibiofemorálního úhlu u českých dětí ve věku od 4 do 11, 9 let. *Anthropometrická studie. Pohybové ústrojí*, 19, 63-73.
- Pfirschmann, 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(5), 410-424.
- 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(4), 466-471.
- Psotta, R. (2006). *Fotbal-kondiční trénink*. Grada Publishing as.
- Quatman, C. E., & Hewett, T. E. (2009). The anterior cruciate ligament injury controversy: is “valgus collapse” a sex-specific mechanism?. *British journal of sports medicine*, 43(5), 328-335.
- 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*, 1156.
- Read, P. J., Oliver, J. L., De Ste Croix, M. B., Myer, G. D., & Lloyd, R. S. (2018). An audit of injuries in six English professional soccer academies. *Journal of sports sciences*, 36(13), 1542-1548.

- Ribeiro, F., Mota, J., & Oliveira, J. (2007). Effect of exercise-induced fatigue on position sense of the knee in the elderly. *European journal of applied physiology*, 99(4), 379-385.
- Riemann, B. L., & Lephart, S. M. (2002). The sensorimotor system, part II: the role of proprioception in motor control and functional joint stability. *Journal of athletic training*, 37(1), 80.
- Rosene, J. M., Fogarty, T. D., & Mahaffey, B. L. (2001). Isokinetic hamstrings: quadriceps ratios in intercollegiate athletes. *Journal of athletic training*, 36(4), 378.
- Rozzi, S., 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*, 34(2), 106.
- Rozzi, S., Yuktanandana, P., Pincivero, D., & Lephart, S. M. (2000). Role of fatigue on proprioception and neuromuscular control. *Proprioception and neuromuscular control in joint stability. Champaign, IL: Human Kinetics*, 375-383.
- Rumpf, M. C., & Cronin, J. (2012). Injury incidence, body site, and severity in soccer players aged 6–18 years: implications for injury prevention. *Strength & Conditioning Journal*, 34(1), 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(1), 159.
- Senter, C., & Hame, S. L. (2006). Biomechanical analysis of tibial torque and knee flexion angle. *Sports Medicine*, 36(8), 635-641.
- Shimokochi, Y., & Shultz, S. J. (2008). Mechanisms of noncontact anterior cruciate ligament injury. *Journal of athletic training*, 43(4), 396-408.
- Shea, K. G., Pfeiffer, R., Wang, J. H., Curtin, M., & Apel, P. J. (2004). Anterior cruciate ligament injury in pediatric and adolescent soccer players: an analysis of insurance data. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 24(6), 623-628.
- Silva, J. R., Ascensão, A., Marques, F., Seabra, A., Rebelo, A., & Magalhães, J. (2013). Neuromuscular function, hormonal and redox status and muscle damage of professional soccer players after a high-level competitive match. *European journal of applied physiology*, 113(9), 2193-2201.
- Skinner, H. B., Wyatt, M. P., Hodgdon, J. A., Conard, D. W., & Barrack, R. L. (1986). Effect of fatigue on joint position sense of the knee. *Journal of orthopaedic research*, 4(1), 112-118.

- Soomro, N., Sanders, R., Hackett, D., Hubka, T., Ebrahimi, S., Freeston, J., & Cobley, S. (2016). The efficacy of injury prevention programs in adolescent team sports: a meta-analysis. *The American journal of sports medicine*, *44*(9), 2415-2424.
- 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*(1), 120-125.
- Smith, H. C., Johnson, R. J., Shultz, S. J., Tourville, T., Holterman, L. A., Slauterbeck, J., ... & Beynnon, B. D. (2012). a prospective evaluation of the Landing Error Scoring System (LESS) as a screening tool for anterior cruciate ligament injury risk. *The American journal of sports medicine*, *40*(3), 521-526.
- Stevens, G. A., Singh, G. M., Lu, Y., Danaei, G., Lin, J. K., Finucane, M. M., ... & Paciorek, C. J. (2012). National, regional, and global trends in adult overweight and obesity prevalences. *Population health metrics*, *10*(1), 22.
- Tanner, J. M. (1962). Growth at adolescence.
- Thomas, A. C., McLean, S. G., & Palmieri-Smith, R. M. (2010). Quadriceps and hamstrings fatigue alters hip and knee mechanics. *Journal of applied biomechanics*, *26*(2).
- Tichý, M. (2008). *Dysfunkce kloubu*. Praha: Miroslav Tichý.
- Tonson, A., Ratel, S., Le Fur, Y., Vilmen, C., Cozzone, P. J., & Bendahan, D. (2010). Muscle energetics changes throughout maturation: a quantitative ³¹P-MRS analysis. *Journal of Applied Physiology*, *109*(6), 1769-1778.
- Trnavský, K., & Rybka, V. (2006). *Syndrom bolestivého kolena*. Praha: Galén.
- Van der Sluis, A., Elferink-Gemser, M. T., Brink, M. S., & Visscher, C. (2015). Importance of peak height velocity timing in terms of injuries in talented soccer players. *International journal of sports medicine*, *36*(04), 327-332.
- Villaseca-Vicuña, R., Molina-Sotomayor, E., Zabaloy, S., & Gonzalez-Jurado, J. A. (2021). Anthropometric profile and physical fitness performance comparison by game position in the Chile women's senior national football team. *Applied Sciences*, *11*(5), 2004.
- Voloc, A., Esterle, L., Nguyen, T. M., Walrant-Debray, O., Colofitchi, A., Jehan, F., & Garabedian, M. (2010). High prevalence of genu varum/valgum in European children with low vitamin D status and insufficient dairy products/calcium intakes. *European journal of endocrinology*, *163*(5), 811.

- Volpi, P., & Taioli, E. (2012). The health profile of professional soccer players: future opportunities for injury prevention. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(12), 3473-3479.
- Westcott, S. L., Lowes, L. P., & Richardson, P. K. (1997). Evaluation of postural stability in children: current theories and assessment tools. *Physical therapy*, 77(6), 629-645.
- Whiting, W. C., & Zernicke, R. F. (2008). *Biomechanics of musculoskeletal injury*. Human Kinetics.
- Whittaker, J. L., Woodhouse, L. J., Nettel-Aguirre, A., & Emery, C. A. (2015). Outcomes associated with early post-traumatic osteoarthritis and other negative health consequences 3–10 years following knee joint injury in youth sport. *Osteoarthritis and cartilage*, 23(7), 1122-1129.
- Wiacek, M., Andrzejewski, M., Chmura, J., & Zubrzycki, I. Z. (2011). The changes of the specific physiological parameters in response to 12-week individualized training of young soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(6), 1514-1521.
- Wikstrom, E. A., Tillman, M. D., Chmielewski, T. L., & Borsa, P. A. (2006). Measurement and evaluation of dynamic joint stability of the knee and ankle after injury. *Sports Medicine*, 36(5), 393-410.
- Williams, C. A., Wood, L., & De Ste Croix, M. (2013). Growth and maturation during childhood. *Paediatric Biomechanics and Motor Control Theory and Application*. Abingdon, Oxon: Routledge.
- Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement*. John Wiley & Sons.
- Wong, P., & Hong, Y. (2005). Soccer injury in the lower extremities. *British journal of sports medicine*, 39(8), 473-482.
- 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(6), 824-830.
- Zhou, S., McKenna, M. J., Lawson, D. L., Morrison, W. E., & Fairweather, I. (1996). Effects of fatigue and sprint training on electromechanical delay of knee extensor muscles. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 72(5), 410-416.

11 Přílohy

Příloha 1: Položky LESS s definicí a skóre, které ve své práci uvádí Padua et al. (2015).

1. Velikost flexe v kolenu při prvním kontaktu (Obrázek 1 a 2)

- Pokud je v okamžiku prvního kontaktu se zemí koleno testované dolní končetiny (DK) ve flexi 30° nebo větší, skóre je ANO. Pokud menší než 30° , skóre je NE.
- Pohled kamery je z boku (Sagitální)
- Chybný stav pro tuto položku je NE
- Skóre A=0, N=1

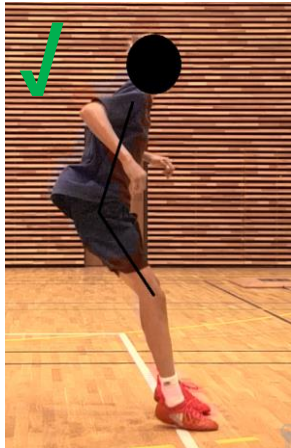


Obrázek 1. Velikost flexe v kolenu při prvním kontaktu (správné provedení)

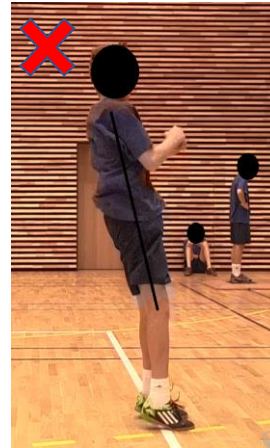
Obrázek 2. Velikost flexe v kolenu při prvním kontaktu (chybné provedení)

2. Velikost flexe v kyčli při prvním kontaktu (Obrázek 3 a 4)

- Pokud je v okamžiku prvního kontaktu se zemí stehno testované DK v jedné linii s trupem (úhel stehno-trup 180°), není ohnut v bocích = skóre je NE. Pokud je úhel menší než 180° , je ohnutý = skóre je ANO.
- Pohled kamery je z boku (Sagitální)
- Chybný stav pro tuto položku je NE
- Skóre A=0, N=1



Obrázek 3. Velikost flexe v kyčli při prvním kontaktu (správné provedení)



Obrázek 4. Velikost flexe v kyčli při prvním kontaktu (chybné provedení)

3. Velikost flexe trupu při prvním kontaktu (Obrázek 5 a 6)

- Pokud je v okamžiku prvního kontaktu se zemí trup kolmo k zemi (vertikálně) nebo v záklonu, skóre je NE. Pokud je trup ve flexi (předklonu), skóre je ANO.
- Pohled kamery je z boku (Sagitální)
- Chybný stav pro tuto položku je NE
- Skóre A=0, N=1



Obrázek 5. Velikost flexe trupu při prvním kontaktu (správné provedení)



Obrázek 6. Velikost flexe trupu při prvním kontaktu (chybné provedení)

4. Velikost plantární flexe kotníku při prvním kontaktu (Obrázek 7 a 8)

- Pokud noha testované DK dopadá v pořadí špička pata, skóre je ANO. Pokud dopadá pata špička nebo na celé chodidlo, skóre je NE.
- Pohled kamery je z boku (Sagitální)
- Chybný stav pro tuto položku je NE
- Skóre A=0, N=1



Obrázek 7. Velikost plantární flexe kotníku při prvním kontaktu (správné provedení)

Obrázek 8. Velikost plantární flexe kotníku při prvním kontaktu (chybné provedení)

5. Valgózní postavení kolene při prvním kontaktu (Obrázek 9 a 10)

- Pokud je v okamžiku prvního kontaktu se zemí koleno testované DK ve valgózním postavení, skóre je ANO (vertikála spuštěná ze středu paty testované DK, prochází mediálně od chodidla). Pokud prochází chodidlem, nebo laterálně, skóre je NE.
- Pohled kamery je z čela (Frontální)
- Chybný stav pro tuto položku je ANO
- Skóre A=1, N=0



Obrázek 9. Valgózní postavení kolene při prvním kontaktu (správné provedení)



Obrázek 10. Valgózní postavení kolene při prvním kontaktu (chybné provedení)

6. Laterální flexe trupu při prvním kontaktu (Obrázek 11 a 12)

- Pokud je v okamžiku prvního kontaktu se zemí trup v lateroflexi, skóre je ANO. Pokud není, skóre je NE.
- Pohled kamery je z čela (Frontální)
- Chybný stav pro tuto položku je ANO
- Skóre A=1, N=0



Obrázek 11. Laterální flexe trupu při prvním kontaktu (správné provedení)



Obrázek 12. Laterální flexe trupu při prvním kontaktu (chybné provedení)

7. Široké postavení nohou (Obrázek 13 a 14)

- V okamžiku, kdy je celé chodidlo testované DK v kontaktu se zemí, spustíme vertikálu z akromionu. Pokud vertikála prochází mediálně od chodidla, skóre je ANO. Pokud vertikála prochází chodidlem nebo laterálně, skóre je NE.
- Pohled kamery je z čela (Frontální)
- Chybný stav pro tuto položku je ANO
- Skóre A=1, N=0



Obrázek 13. Široké postavení nohou (správné provedení)

Obrázek 14. Široké postavení nohou (chybné provedení)

8. Úzké postavení nohou (Obrázek 15 a 16)

- V okamžiku, kdy je celé chodidlo testované DK v kontaktu se zemí, spustíme vertikálu z akromionu. Pokud vertikála prochází laterálně od chodidla, skóre je ANO. Pokud vertikála prochází chodidlem nebo mediálně, skóre je NE.
- Pohled kamery je z čela (Frontální)
- Chybný stav pro tuto položku je ANO
- Skóre A=1, N=0



Obrázek 15. Úzké postavení nohou (správné provedení)

Obrázek 16. Úzké postavení nohou (chybné provedení)

9. Vnější rotace (Obrázek 17 a 18)

- Pokud je během doskoku chodidlo testované DK ve vnější rotaci 30° nebo více, skóre je ANO. Pokud méně než 30°, skóre je NE.
- Pohled kamery je z čela (Frontální)
- Chybný stav pro tuto položku je ANO
- Skóre A=1, N=0



Obrázek 17. Vnější rotace (správné provedení)

Obrázek 18. Vnější rotace (chybné provedení)

10. Vnitřní rotace (Obrázek 19 a 20)

- Pokud je během doskoku chodidlo testované DK ve vnitřní rotaci 30° nebo více, skóre je ANO. Pokud méně než 30°, skóre je NE.
- Pohled kamery je z čela (Frontální)
- Chybný stav pro tuto položku je ANO
- Skóre A=1, N=0



Obrázek 19. Vnitřní rotace (správné provedení)



Obrázek 20. Vnitřní rotace (chybné provedení)

11. Symetricita dopadu nohou při prvním kontaktu (Obrázek 21 a 22)

- Pokud chodidla dopadají současně (symetricky), skóre je ANO. Pokud chodidla nedopadají současně nebo jedno z nich dopadá v pořadí pata špička a druhé v pořadí špička pata, skóre je NE.
- Pohled kamery je z čela (Frontální)
- Chybný stav pro tuto položku je NE
- Skóre A=0, N=1



Obrázek 21. Symetricita dopadu nohou při prvním kontaktu (správné provedení)



Obrázek 22. Symetricita dopadu nohou při prvním kontaktu (chybné provedení)

12. Změna velikosti flexe v kolenním kloubu (Obrázek 23 a 24)

- Pokud je během doskoku změna velikosti flexe v kolenním kloubu 45° a více, skóre je ANO. Pokud je změna velikosti flexe v kolenním kloubu menší než 45° , skóre je NE.
- Pohled kamery je z boku (Sagitální)
- Chybný stav pro tuto položku je NE
- Skóre A=0, N=1



Obrázek 23. Změna velikosti flexe v kolenním kloubu (správné provedení)



Obrázek 24. Změna velikosti flexe v kolenním kloubu (chybné provedení)

13. Změna velikosti flexe v kyčelním kloubu (Obrázek 25)

- Pokud se flexe v kyčelním kloubu zvětší v průběhu doskoku, skóre je ANO. Pokud zůstane stejná nebo se zmenší, skóre je NE.
- Pohled kamery je z boku (Sagitální)
- Chybný stav pro tuto položku je NE
- Skóre A=0, N=1



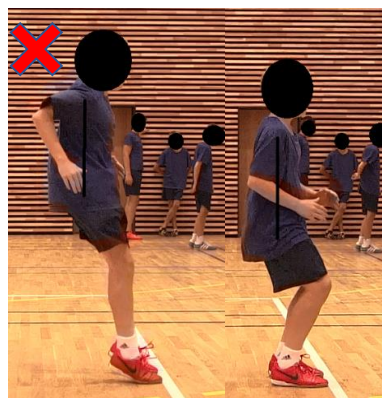
Obrázek 25. Změna velikosti flexe v kyčelním kloubu (všichni provedli správně)

14. Změna velikosti flexe trupu (Obrázek 26 a 27)

- Pokud se flexe trupu (předklon) zvětší od okamžiku prvního kontaktu se zemí po maximální flexi v kolenou, skóre je ANO. Pokud flexe zůstane stejná, nebo se zmenší, skóre je NE.
- Pohled kamery je z boku (Sagitální)
- Chybný stav pro tuto položku je NE
- Skóre A=0, N=1



Obrázek 26. Změna velikosti flexe trupu (správné provedení)



Obrázek 27. Změna velikosti flexe trupu (chybné provedení)

15. Valgózní postavení kolene při jejich nejmenší vzdálenosti (Obrázek 28 a 29)

- V okamžiku valgózního postavení kolene spustíme vertikálu ze středu pately. Pokud prochází palcem nebo mediálně, skóre je ANO. Pokud prochází laterálně od palce, skóre je NE.
- Pohled kamery je z čela (Frontální)
- Chybný stav pro tuto položku je ANO
- Skóre A=1, N=0



Obrázek 28. Valgózní postavení kolene při nejmenší vzdálenosti (správné provedení)



Obrázek 29. Valgózní postavení kolene při nejmenší vzdálenosti (chybné provedení)

16. Kloubní posun (Obrázek 30 a 31)

- Sledování změny flexe v kyčelním a kolenním kloubu. Pokud je změna flexe trupu, kyčle a kolene velká, skóre je MĚKKÝ. Pokud je změna flexe průměrná, skóre je PRŮMĚRNÝ. Pokud je změna flexe velmi malá, skóre je TVRDÝ.
- Pohled kamery je z boku (Sagitální)
- Chybný stav pro tuto položku je TVRDÝ i PRŮMĚRNÝ
- Skóre Tvrdý=2, Průměr=1, Měkký=0



Obrázek 30. Kloubní posun (správné provedení)

Obrázek 31. Kloubní posun (chybné provedení)

17. Celkový posun (Obrázek 32 a 33)

- Pokud je doskok měkký a nedochází k pohybu kolenního kloubu testované DK v čelné rovině, skóre je EXCELENTNÍ. Pokud je doskok tvrdý a dochází k pohybu kolenního kloubu v čelné rovině, skóre je ŠPATNÝ. Všechny ostatní doskoky mají skóre PRŮMĚRNÝ.
- Pohled kamery je z boku i z předu (Sagitální a Frontální)
- Chybný stav pro tuto položku je ŠPATNÝ i PRŮMĚRNÝ
- Skóre Špatný=2, Průměr=1, Excelentní=0



Obrázek 32. Celkový posun (správné provedení)



Obrázek 33. Celkový posun (chybné provedení)

U položek 1 – 15 bylo skóre definováno jako chyba alespoň u 2 z 3 pokusů. u položek 16 a 17 bylo kladné skóre definováno jako průměr z alespoň 2 ze 3 pokusů nebo špatný/tuhý z alespoň 1 ze 3 pokusů.