

Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta tělesné kultury

**Vliv únavy na neuromuskulární řízení kolenního
kloubu a riziko zranění u fotbalistů věkové
kategorie 13 a 15 let**

Diplomová práce
(magisterská)

Autor: Bc. Tereza Krakovská, obor Fyzioterapie
Vedoucí práce: Doc. PaedDr. Michal Lehnert, Dr.

Olomouc 2017

Jméno a příjmení autora: Tereza Krakovská

Název diplomové práce: Vliv únavy na neuromuskulární řízení kolenního kloubu a riziko zranění u fotbalistů věkové kategorie 13 a 15 let

Pracoviště: Katedra fyzioterapie

Vedoucí diplomové práce: Doc. PaedDr. Michal Lehnert Dr.

Rok obhajoby diplomové práce: 2017

Abstrakt:

Cílem práce bylo stanovit změny neuromuskulárního řízení v oblasti kolenního kloubu v průběhu soutěžního mikrocyklu a posoudit s tím spojené riziko zranění v důsledku únavy. Studie se zúčastnila skupina 26 fotbalistů SK Sigma Olomouc ve věku 13 let ($n = 15$; průměrný věk $13,6 \pm 0,3$) a skupina ve věku 15 let ($n = 11$; průměrný věk $15,7 \pm 0,3$). Sledovanými parametry neuromuskulární stability byly relativní tuhost dolní končetiny (RLS) a index reaktivní síly (RSI), které byly vypočteny z výsledků 20 submaximálních vertikálních skoků a 5 maximálních vertikálních skoků. Pro měření byly využity dynamografické plato PS-2142 a výskokový ergometr FITRO Jumperu.

Výsledky Friedmanovy ANOVY, resp. Bonferroniho post-hoc testu potvrzují vliv věku na kvalitu neuromuskulárního řízení kolenního kloubu. Ačkoliv staticky významný ($p < 0,001$; $F = 8,308$) rozdíl byl zjištěn pouze v případě RSI, vyšší úroveň sledovaných indikátorů u skupiny U15 jak při vstupním, tak i při dalších měřeních v průběhu tréninkového mikrocyklu ukazuje na zlepšování neuromuskulární kontroly s věkem a tím zvýšené schopnosti chránit kolenní kloub.

Fotbalové utkání mělo vliv na pokles hodnot RSI u obou kategorií, avšak statisticky významný rozdíl mezi měřeními před a po utkání byl zjištěn pouze u skupiny U15. Hodnoty RLS po utkání klesly u skupiny U13, zatímco u U15 došlo k nárůstu. Výsledky po utkání neukazují jednoznačné snížení hodnot, které by mohlo mít vlivem únavy dopad na snížení neuromuskulární kontroly a tedy i zvýšené riziko zranění. Na konci soutěžního mikrocyklu lze usuzovat na nedostatečné zotavení před následujícím utkáním u skupiny U13 pouze ze snížených hodnot RLS, zatímco u skupiny U15 došlo k významnému zhoršení obou sledovaných

ukazatelů, které mohou mít vliv na dynamickou stabilitu kolenního kloubu a tím i riziko zranění. Orientační individuální analýza však potvrdila, že změny RLS byly vysoce individuální.

Klíčová slova: relativní tuhost dolní končetiny, index reaktivní síly, únava, neuromuskulární kontrola, zranění, fotbal, adolescenti

Souhlasím s půjčováním diplomové práce v rámci knihovnických služeb.

Name and surname: Tereza Krakovská

Title of thesis: Effect of fatigue on neuromuscular control of the knee and injury risk in 13 and 15 year old football players

Department: Department of Physiotherapy

Supervisor of the thesis: Doc. PaedDr. Michal Lehnert Dr.

Year of defence of the thesis: 2017

Abstract:

The aim of this diploma thesis was to determine changes in neuromuscular control of the knee during a competition microcycle to assess the associated risk of injury due to fatigue. 26 football players from an U13 team ($n = 15$, mean age 13.6 ± 0.3) and an U15 team ($n = 11$, mean age 15.7 ± 0.3) from the club SK Sigma Olomouc, participated in this study. The observed parameters of neuromuscular control, relative leg stiffness (RLS) and reactive strength index (RSI), were calculated from the results of 20 submaximal vertical jumps and 5 maximal vertical jumps. The PS-2142 force platform and FITRO Jumper ergometer were used for the measurements.

The results of Friedman's ANOVA, respectively Bonferroni's post-hoc test confirms the effect of age on the quality of neuromuscular knee joint control. Although a statistically significant ($p < 0.001$; $F = 8.308$) difference was found only for RSI, there was a higher level of the observed indicators in the U15 group, both in the input and in the other measurements, during the training microcycle. These results show improvement in neuromuscular control with age and hence increased ability to protect the knee joint. The soccer match had an impact on the decrease in the RSI in both age groups, but the statistically significant difference between pre and post match measurements was found only for the U15 group. The RLS after the match decreased in the U13 group while increased in the U15 group. The results after the match do not show a clear reduction in values that could have an impact on reducing neuromuscular control in a state of fatigue and hence an increased risk of injury. At the end of the competition microcycle, the reduction of RLS in the U13 group points out insufficient recovery before the next match. For the U15 group there was significant deterioration of both monitored

indicators which could affect the dynamic stability of the knee joint and thus increase the risk of injury. However tentative individual analysis confirmed that RLS changes were highly individual.

Key words: relative leg stiffness, reactive strength index, fatigue, neuromuscular control, maturation, soccer, adolescents

I agree with lending of the thesis within the library services.

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

V Olomouci dne 3. 5. 2017

.....

Děkuji Doc. PaedDr. Michalu Lehnertovi, Dr. za pomoc, cenné rady a individuální přístup při zpracování diplomové práce. Děkuji také RNDr. Milanu Elfmarkovi za statistické zpracování dat a dále celému kolektivu, který se podílel na realizaci měření.

Seznam použitých zkratek

ACL = přední zkřížený vaz

CMJ = counter movement jump

CNS = centrální nervová soustava

RLS = relative leg stiffness (relativní tuhost dolní končetiny)

LS = leg stiffness (tuhost dolní končetiny)

RSI = reactive strength index (index reaktivní síly)

KOK = kolenní kloub

m = metr

min = minuta

m., mm. = musculus, muscoli

n = počet

s = sekunda

SAFT⁹⁰ = soccer specific aerobic field test

SSIET = soccer-specific intermittent exercise test

U13 = skupina 13 letých fotbalistů

U15 = skupina 15 letých fotbalistů

VAS = vizuální analogová škála

OBSAH

1	ÚVOD	11
2	PŘEHLED SOUČASNÝCH POZNATKŮ	12
2.1	Zranění ve fotbale	12
2.2	Nekontaktní poranění kolenního kloubu	13
2.3	Anatomie a kineziologie kolenního kloubu	14
2.3.1	Statické stabilizátory kolenního kloubu	15
2.3.1.1	Menisky	15
2.3.1.2	Kloubní pouzdro	16
2.3.1.3	Vazivový aparát	16
2.3.2	Dynamické stabilizátory kolenního kloubu	17
2.3.3	Pohyby v kolenním kloubu	17
2.4	Neuromuskulární kontrola stability kolenního kloubu	18
2.4.1	Senzomotorický systém	19
2.4.2	Propriocepce	20
2.5	Rizikové faktory nekontaktního poranění ACL	21
2.5.1	Únava	23
2.5.1.1	Únava u dětí a dospívajících	27
2.5.2	Tuhost dolní končetiny	29
2.5.3	Index reaktivní síly	30
2.6	Shrnutí syntézy poznatků	30
3	CÍLE A ÚKOLY PRÁCE	32
3.1	Cíl práce	32
3.2	Dílčí cíle	32
3.3	Výzkumné otázky	32
4	METODIKA MĚŘENÍ	34
4.1	Charakteristika souboru	34
4.2	Termíny měření	35
4.3	Postup měření	36
4.4	Statistické zpracování dat	38
5	VÝSLEDKY	39
6	DISKUZE	45
7	ZÁVĚRY	55

8	SOUHRN.....	56
9	SUMMARY	58
10	REFERENČNÍ SEZNAM	60
11	PŘÍLOHY	67

1 ÚVOD

Riziko zranění se vyskytuje ve všech sportech, na všech výkonnostních stupních a v každém věku. Ve sportu se v souvislosti se zraněními rozlišují rizikové faktory intrinzivní (tj. individuální biologické a psychosociální charakteristiky osobnosti jako věk, pohlaví, stavba těla, zdravotní stav, kloubní stabilita, síla apod.) a extrinzivní (vázané na prostředí, např. tělesné zatížení, vybavení, hrací povrch apod.).

Riziko zranění ve sportu u mladých sportovců se zvyšuje v různých stádiích růstu a zrání. Z důvodu výrazných změn postavy a váhy mají největší riziko zranění fotbalisti ve věku 13-15 let, kdy incidence je 65.8/1000 hodin. Výsledky studií, které se zaměřovaly na riziko zranění ve fotbale, poukazují na zvýšený počet zranění ke konci utkání, resp. poločasu. Nejčastěji se jedná o nekontaktní poranění kolenního kloubu a to zejména při pohybech jako jsou dopady po výskocích, rychlé změny směru nebo pohyby stranou.

Významným faktorem, který přispívá ke zvýšení rizika zranění je únava, která ovlivňuje dynamickou stabilitu kolenního kloubu v důsledku změn úrovně neuromuskulárních funkcí v průběhu utkání i tréninků a klade větší nároky na pasivní stabilizátory kolenního kloubu.

Diplomová práce se snaží zjistit, zda v průběhu soutěžního mikrocyklu dochází k zhoršení neuromuskulárního řízení v oblasti kolenního kloubu v důsledku únavy ze soutěžního a tréninkového zatížení. Zda se tak zvyšuje riziko zranění a jestli z tohoto pohledu existují souvislosti s věkem.

2 PŘEHLED SOUČASNÝCH POZNATKŮ

2.1 Zranění ve fotbale

Fotbal je s 265 miliony účastníky nejpopulárnějším sportem na světě (Alentorn-Geli, Myer, & Silvers, 2009). V dnešní době se fotbal hraje rychleji a agresivněji než dříve (Pfírmann, Herbst, Ingelfinger, Perikles, & Suzan, 2016).

V systematickém přehledu, kde skupina mladých byla ve věku od 9 do 19 let, zjistili, že celkový počet zranění byl v rozpětí 2.0-19.4 na 1000 hodin tréninku i utkání. U mladých fotbalistů ve věku 16-18 let bylo zjištěno, že až 70% zranění postihuje dolní končetiny (Alentorn-Geli et al., 2009). Mezi nejčastější patří natažení, vymknutí nebo kontuze v oblasti hlezna, kolenního kloubu, hamstringů a třísel (Pfírmann et al., 2016). Dle studií z roku 1980 bylo nejčastějším poraněním ve fotbale hlezno a kolenní kloub, ale podle nedávaných studií to jsou hamstringy (Small, McNaughton, Greig, & Lovell, 2010). Brophy, Schmitz a Wright (2012) došli k závěru, že stále nejčastější nekontaktní poranění je v oblasti měkkých tkání kolenního kloubu, především předního zkříženého vazů (dále jen ACL) a vnitřního postranního vazů. Kohortová studie zjistila, že riziko zranění ACL u adolescentů a mladých dospělých je nízká. Riziko se ale statisticky signifikantně zvyšuje u sportovců, kteří trénují 3x týdně (Parkkari, Pasanen, Mattila, Kannus, & Rimpela, 2008). Výsledky studií poukazují na zvětšující se tendenci zranění ke konci hráčské doby, a to jak v prvním, tak druhém poločase. Tendence zranění roste společně s odehraným časem, kdy se také snižuje intenzita práce i výkon (De Ste Croix, 2012).

Velmi málo studií se věnuje zranění u mladých nebo dospívajících hráčů. Rumpf a Cronin (2012), kteří se právě problematice zranění u hráčů v rozmezí 6-18 let věnovali, se shodli na tom, že zranění nastává častěji v průběhu utkání, než při tréninku. To potvrzuje i Pfírmann et al. (2016), kteří tvrdí, že riziko zranění je v průběhu utkání až pětikrát vyšší. Větší tréninkové zatížení, vyšší kvalita tréninku a dostatečné rozcvičení vede ke snížení počtu úrazů, což potvrzuje i to, že méně zkušenější hráči

snáze podléhají zranění než profesionální. V neposlední řadě obránci a záložníci mají větší riziko zranění než útočníci nebo brankář.

Riziko zranění ve sportu u mladých sportovců se zvyšuje v různých stádiích růstu a zrání. Lineární nárůst rizika zranění byl zaznamenán od 9 do 15 let u mužů s prudkým zvýšením ve věku 13 let, kdy dochází k prudkým změnám postavy a váhy. Spolu se zvyšujícím se věkem se zvyšují i nároky na množství tréninků a utkání, kde dochází k opakované zátěži (Read, Oliver, De Ste Croix, Myer, & Lloyd, 2015). Největší riziko zranění mají hráči ve věku 13 až 15 let, kdy incidence je 65.8/1000 hodin. V porovnání s vyšší i nižší věkovou skupinou riziko výrazně klesá a poměrně se shoduje. U 9-12letých je 8.0/1000 hodin a 8.4/1000 hodin u 16-18letých (Rumpf & Cronin, 2012). Rumpf a Cronin (2012) tvrdí, že mladí fotbalisti podlehlí zranění převážně ve věku jejich největšího růstu, okolo 14 let. Zrání je velice individuální konstantní proces spojený s kvalitativními změnami organismu, a to jak strukturálními, tak funkčními. Variabilita zrání jednotlivých fyziologických systémů je považovaná jako rizikový faktor zranění. Při rychlém růstu kostěných struktur se svalový systém musí zároveň vyvíjet jak do velikosti, tak do délky. Následkem neproporcionálního nárůstu kostí a svalů může dojít k zvýšení sil v oblasti daných struktur v relaxovaném stavu, neustálému tahu za úpon a následně i k vzniku aseptické nekrózy. Následkem rychlejšího růstu končetin v porovnání s krátkými kostmi trupu, může docházet k dočasnému snížení motorických schopností jedince. V tomto období dochází k zvýšení aktivity neurální plasticity mozku jako výsledek přirozeného vývoje nervosvalového systému a proto dostatečný rozvoj základních pohybových dovedností v prepubertálním věku je zásadní pro dynamickou stabilitu (Read et al., 2015).

2.2 Nekontaktní poranění kolenního kloubu

Kolenní kloub se v rámci vývoje dostal mezi dvě dlouhé páky tvořené tibíí a femurem, kdy dané měkké tkáně musí odolávat extrémním momentům sil (Smékal & Mayer, n. d.). Nedostatečná rovnováha mezi svalovou silou hamstringů a m. quadriceps femoris nebo příliš časná aktivace m. quadriceps femoris, může vést k výraznému zvýšení napětí

ACL (Wetters, Weber, Wuerz, Schub, & Mandelbaum, 2016; Wikstrom, Powers, & Tillman, 2004). Axiální komprese kolenního kloubu působí na posteriorní translaci distálního femuru v závislosti na tibií a může tak dojít ke zvýšení napětí ACL. Při větší relativní extenzi kolenního kloubu, je větší i dopředná smyková síla tibie, klesá ochranná kontrakce hamstringů a zvyšuje se tak riziko poranění ACL (Wetters et al., 2016).

Asi 70% všech poranění ACL je nekontaktních. Dochází k nim při náhlých změnách směru, otočkách nebo doskocích na jednu dolní končetinu (Hewett, Lindenfeld, Riccobene, & Noyes, 1999; Wetters et al., 2016). Brophy et al. (2012) ve své studii zmiňují, že více než 25% sportovců se po zranění ACL už nevrátí k předchozí úrovni sportovní aktivity ani po úspěšné operaci a rehabilitaci. Poranění ACL je spojeno s nejdelším přerušением tréninků i soutěžního období. Spadá do kategorie vážných zranění, která mají tendenci se opakovaně vracet a mohou mít zásadní význam pro vznik degenerativních změn (Lehnert et al., n. d.).

Při jeho poškození se často u daných pacientů prokazují poruchy koordinace a časování stabilizačních svalů, zpomalení reakčních časů, pomalejší dosažení optimálního momentu síly a narušení anticipačních mechanismů. Mezi stavem měkkých tkání kolenního kloubu a propriocepcí je obousměrný vztah, kdy při porušení měkkých tkání se projeví v poruše propriocepce, která nadále zhoršuje kontrolu dynamické stabilizace kloubu. Oblast kolenního kloubu zabírá na homunkulu velmi malou plochu. Poměrově vůči obličejí, noze nebo ruce má velmi malou kortikální senzomotorickou reprezentaci a je málo uvědomován. Při poruchách senzoryky tak může docházet ke zhoršení signalizace přetížení kloubu, což může zvýšit jeho zranitelnost (Smékal & Mayer, n. d.).

2.3 Anatomie a kineziologie kolenního kloubu

Kolenní kloub je kloubem složeným, kde se stýká femur, tibia a patela (Čihák, 2011). Je kloubem s jedním stupněm volnosti, kdy pohyb probíhá v transverzální ose. Kapandji (1987) zmiňuje i druhý stupeň volnosti, kterým je rotace v podélné ose dolní končetiny, která může probíhat pouze při flexi kolenního kloubu. Kontakt mezi kondyly femuru a tibií je prakticky v horizontální rovině. Zatímco tibia při stojí míří svise

distálně, tělo femuru se mírně odklání od vertikály, takže svírá s osou tibie úhel zevně otevřený – fyziologický abdukční úhel. Ten se pohybuje v rozmezí od 170° do 175°. V praxi využíváme spíše Q úhlu, který se měří jako spojnice linie spina iliaca anterior superior se středem pately a spojnice středu pately s tuberositas tibie. Tento úhel by neměl překročit 10° u mužů a 15° u žen (Čihák, 2011). Velké síly, které vznikají při sportovních aktivitách často překračují fyziologické limity primárních statických stabilizátorů. Z důvodu nízké kongruence kloubních ploch a nedostačující statické stabilizace při náročných funkčních úkolech se kolenní kloub musí spolehnout na dynamické stabilizátory (Wikstrom, Tillman, Chmielewski, & Borsa, 2006). Proces udržení funkční stability kloubu se tedy odehrává koaktivací statických a dynamických stabilizátorů, kdy mezi pasivní stabilizátory kolenního kloubu patří anatomie a struktura artikulujících kostí, menisky, kloubní pouzdro a vazy. Dynamická stabilita je dána feedforward a feedback kontrolou svalů, které jsou v kontaktu s kolenním kloubem (Riemann & Lephart, 2002a; Wikstrom et al., 2006).

2.3.1 Statické stabilizátory kolenního kloubu

2.3.1.1 Menisky

Zakřivení kloubních ploch femuru se směrem dozadu spirálovitě stupňuje a není vzhledem k prostorové orientaci a tvaru obou kondylů stejné (Dylevský, 2009a). Laterální kondyl femuru je menší a vyčnívá více dopřed, zatímco větší mediální kondyl se k němu svým okrajem stáčí a přibližuje (Dylevský, 2009b). Zakřivení kondylů femuru není kongruentní s plochou tibie a proto styčné plochy představují menisky (Čihák, 2011). Jedná se o lamely složené na obvodu z hustého vaziva, které směrem do středu přechází ve vazivovou chrupavku a liší se tvarem i velikostí. Mediální meniskus má poloměsíčitý tvar, jeho cípy se upínají na přední a zadní interkondylární plochu a ve střední části je pevně srostlý s částí vnitřního kolaterálního vazy. Je tedy méně pohyblivý a proto bývá častěji poškozen. Laterální meniskus je téměř kruhový, jeho přední cíp se upíná do blízkosti předního zkříženého vazy a zadní cíp se upíná na zadní interkondylární plochu. Vzhledem ke svému skoro

kruhovému tvaru se prakticky upíná v jednom místě a tím pádem je velmi pohyblivý, především při mírné flexi do 30° (Dylevský, 2009b).

2.3.1.2 Kloubní pouzdro

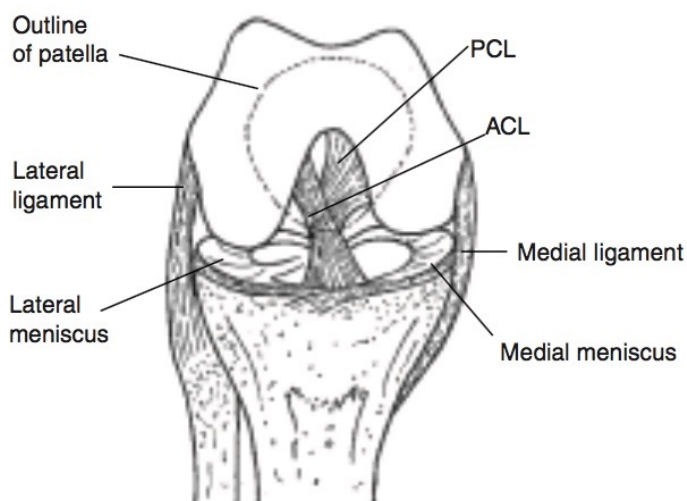
Fibrózní vrstva kloubního pouzdra začíná na femuru asi 1-1,5 cm od okrajů kloubních ploch. Na přední straně se vychlipuje proximálně pod šlachu m. quadriceps femoris, na tibií se pouzdro připojuje v těsné blízkosti kloubních ploch a připíná se k bázi střední části obou menisků. Na patele lemuje okraje kloubní chrupavky. V předních partiích je kloubní pouzdro velmi slabé a zesilují ho postranní vazy (Dylevský, 2009b).

2.3.1.3 Vazivový aparát

Vazivový aparát můžeme rozdělit na vazy kloubního pouzdra a nitrokloubní vazy, které spojují femur s tibií. V přední části se jedná o ligamentum patellae, které je pokračováním šlachy m. quadriceps femoris a retinaculum patellae. Po stranách máme vnitřní a zevní postranní vazy (Čihák, 2011). Ligamentum collaterale tibiale je vpředu tvořeno vertikálními a vzadu šikmými vazivovými vlákny a jeho zadní část pevně srůstá s kloubním pouzdrem a vnitřním meniskem. Ligamentum collaterale fibulare je zaoblený vaz, který je ve výši kloubní štěrbině oddělen od kloubního pouzdra malou vrstvou řídkého vaziva. Distální úsek je obejmut úponem m. biceps femoris. K jejich plnému napnutí dochází při extenzi kolenního kloubu (Dylevský, 2009b). V zadní části se jedná o ligamentum popliteum obliquum, které odbíhá od m. semimembranosus a ligamentum popliteum arcuatum (Čihák, 2011).

K nejmohutnějším nitrokloubním vazům kolenního kloubu patří vazy zkřížené. Ligamentum cruciatum anterior (dále jen ACL) začíná na vnitřní ploše zevního kondylu femuru a jde do přední interkondylární plochy. Jeho nejdůležitější funkcí je anterioposteriorní stabilita kolenního kloubu, tedy předozadní posun tibie vůči femuru, za kterou je zodpovědná anteromediální část ACL. Posterolaterální část naopak napomáhá stabilitě rotační (Dylevský, 2009b; Smékal & Mayer, n. d.).

ACL je nejvíce zatíženo při vnitřní rotaci bérce při 15° flexi kolenního kloubu (Senter & Hame, 2006). Ligamentum cruciatum posterior jde od zevní plochy vnitřního kondylu do zadní interkondylární plochy. Je o třetinu silnější než ACL, brání posunu bérce dozadu a omezuje zevní rotaci (Dylevský, 2009b).



Obrázek 1. Statické stabilizátory kolenního kloubu (Hughes & Watkins, 2006)

2.3.2 Dynamické stabilizátory kolenního kloubu

Dynamické stabilizátory kolenního kloubu můžeme rozdělit na svalovou skupinu přední a zadní. Přední stranu tvoří především m. quadriceps femoris, kdy největší vliv na stabilitu má mediální a laterální vastus. Zadní stranu tvoří hamstringy, kam řadíme m. semimembranosus, m. semitendinosus a m. biceps femoris. Dále také m. gastrocnemius, Svalová síla m. quadriceps femoris a hamstringů je zásadní pro zvýšení kontaktu v kloubu a snížení síly ve směru anteriorního posunu tibie (Hughes & Watkins, 2006).

2.3.3 Pohyby v kolenním kloubu

Základní postavení kolenního kloubu je extenze. Flexe je v rozsahu 130°-160°, vnitřní rotace je 5-7° a zevní rotace 21°. Flexe kolenního kloubu probíhá v několika fázích. Při počáteční 5° flexi, tvz. odemknutí

kolene, dochází k vnitřní rotaci tibie. V této fázi musí dojít k uvolnění ACL. Následuje valivý a posuvný pohyb femuru po meniscích. Menisky mění svůj tvar, spolu s kondyly se posunují po tibii dozadu a dokončují se flexe (Čihák, 2011; Dylevský, 2009a; Kapandji, 1987). Osa pohybu kolenního kloubu se mění podle stupně flexe a tak se někdy nazývá instantním rotačním centrem. Největší rotace dosahuje při flexi mezi 45°-90°, kdy i většina flexorů má rotační účinek (Dylevský, 2009a).

2.4 Neuromuskulární kontrola stability kolenního kloubu

Neuromuskulární kontrola je nevědomá aktivita dynamických stabilizátorů vyskytujících se v rámci přípravy a odpovědi na pohyb kloubu, kdy chceme udržet nebo obnovit funkční kloubní stabilitu. Je specificky zodpovědná za dynamickou stabilitu skrze aferentní informace přivedené do CNS a eferentní motorickou odpověď (Wikstrom et al., 2006). Informace z proprioceptorů, které se týkají daného kloubu a okolních struktur jsou nezbytné pro neuromuskulární kontrolu (Riemann & Lephart, 2002b).

Pod pojmem neuromuskulární kontrola si můžeme také představit postupnou aktivaci svalů v žádoucím vzorci jak co do časování, tak co do vývoje momentů sil v čase a prostoru. Jedním z nejdůležitějších faktorů majících vztah k poškození ACL je časové rozložení stabilizace v anteroposteriorním a laterolaterálním směru především v situaci stojné fáze chůzového cyklu, při doskoku a při korekci silových momentů působících dopřednou translaci tibie (Smékal & Mayer, n. d.; Yanagawa, Shelburne, Serpas, & Pandy, 2002). Jelikož hamstringy jsou antagonisty ACL, tak pro dynamickou podporu funkce ACL je zásadní, aby došlo k jejich aktivaci jako první. Následně pak k zapojení vastů m. quadriceps femoris a svalů bérce, kdy i aktivace těchto svalů musí být optimálně načasovaná. Mm. gastrocnemii táhnou femur oproti tibii dorzálně za současné komprese kloubu. Předčasná a nadměrná aktivace m. quadriceps femoris představuje další rizikový faktor pro poškození ACL (Smékal & Mayer, n. d.).

Stále je ale otázkou, zda svalová aktivita a tuhost mohou nastat tak rychle, aby dokázaly ochránit kloub při velké síle působící na ligamenta

(De Ste Croix, 2012). Russell, Croce, Swartz a Decoster (2007) porovnávali kokontrakční sílu hamstringů a m. quadriceps femoris při doskocích u dětí a dospělých. I když rozdíl mezi pohlavím nebyl žádný, věkový rozdíl byl signifikantní. Dospělí aktivovali hamstringy před doskokem daleko více než děti, což může vést k názoru, že feed-forward mechanismy jsou daleko vyspělejší u dospělých (De Ste Croix, 2012). Incidence zranění ACL je daleko větší u dospělých v porovnání s dospívajícími a důvodem může být jiná strategie kontroly sil při doskoku (Russell et al., 2007).

Motorická kontrola je plastický proces který podléhá permanentnímu hodnocení, přezkoumávání a modifikaci na základě integrace a analýzy ze senzoričských vstupů, eferentních motorických příkazů a výsledných pohybů. Pro provedení všech motorických úkolů jsou nezbytné všechny dílčí cíle zaměřené na přípravu, udržení a obnovu stability jak posturální, tak kloubní (Riemann & Lephart, 2002b).

2.4.1 Senzomotorický systém

Riemann a Lephart (2002a) popisují senzomotorický systém jako senzoričskou, motorickou a centrální integraci a zpracovávání součástí zapojených do udržování funkční kloubní stability. Tyto části by měly být flexibilní a adaptabilní, protože jednotlivé požadavky na daný systém se neustále mění v závislosti na individualitě a úkolu. Senzomotorický systém udržuje stabilitu komplexním vztahem mezi statickými a dynamickými stabilizátory daného kloubu, které podléhají periferním mechanoreceptorům v kůži, svalech, ligamentech a kloubech. Tento systém se dělí na jednotlivé podsystemy - vizuální, vestibulární a somatosenzoričský. Somatosenzoričský systém společně s periferními receptory jsou podle ortopedických výzkumů ty nejdůležitější pro udržení funkční stability (Wikstrom et al., 2006).

Senzomotorický systém je globální a zahrnuje všechny mechanoreceptory, termoreceptory a informace o bolesti z periferie. Informace důležité pro svalovou činnost přicházejí jednak z proprioreceptorů uložených ve svalech, šlachách a kloubech, ale také z exteroceptorů uložených v kůži (Trojan, Druga, Pfeiffer, & Votava,

2005). Podle Koláře (2009) je vliv aferentních vstupů z celého těla i informací z telereceptorů je pro řízení motoriky zásadní. Svalový systém řízený z centrální nervové soustavy (dále jen CNS), je funkčně spojen se systémem kloubním, interním i kůží. Leží na pomyslné křižovatce, na které se sbíhají vlivy z mozku a míchy, tedy z centrálního systému a z periferie z kůže, podkoží, kloubů atd. Ve své konečné podobě se vlivy z vyšších oblastí CNS, proprioceptorů, exteroceptorů, interceptorů koordinují na úrovni spinální míchy především činnostmi spinálních interneuronů (Kolář, 2009).

2.4.2 Propriocepce

Propriocepce je velmi zneužívaným slovem, které bylo použito jako synonymum pro kinestezii, somatosenzoriku, rovnováhu nebo reflexivní kloubní stabilitu (Riemann & Lephart, 2002a; Smékal & Mayer, n. d.). Riemann a Lephart (2002a) popsali propriocepci jako aferentní informace vycházející z periferních oblastí těla, které přispívají k posturální kontrole, kloubní stabilitě a mnoha dalším vjemům. Je velmi významnou složkou sensorické aferentace a má velký vliv na průběh a řízení motoriky (Kolář, 2009).

Proprioceptivní pole zahrnuje mechanoreceptory zodpovědné za proprioceptivní informaci ze svalů, šlach, ligament a kloubního pouzdra, které reagují na mechanické deformace, společně s mechanoreceptory uloženými v hluboké vrstvě kůže a fasciích (Riemann & Lephart, 2002a).

V ligamentech a kloubním pouzdře najdeme Ruffiniho tělíska, která se chovají jako statické i dynamické receptory. Jsou aktivována při extrémních pohybech v kloubu, ale více zodpovídají za pasivní pohyb. Jsou nízkoprahové a pomalu se adaptují. Opakem jsou dynamické receptory, které se rychle adaptují - Paciniho tělíska. Najdeme zde i na napětí reagující Golgiho šlachová tělíska a volná nervová zakončení citlivá na maximální mechanickou deformaci a zánět (Riemann & Lephart, 2002a; Shaffer & Harrison, 2007). Kloubní receptory jsou aktivovány zejména při maximálním rozsahu pohybu, ale mohou mít větší vliv na propriocepci prostřednictvím interneuronálního spojení s γ -

motoneurony, kterým ovlivňují senzitivitu svalového vřeténka (Shaffer & Harrison, 2007).

Mechanoreceptory ve svalově-šlachové tkáni jsou svalová vřeténka a Golgiho šlachová tělíska. Svalová vřeténka jsou uložena v podélné ose svalu a reagují tak na pasivní protažení svalu. Šlachová tělíska jsou na rozhraní svalu a šlachy, kdy reagují jak na pasivní protažení, tak i na svalovou kontrakci. Informace ze šlachových tělísek působí útlum alfa motoneuronů svého svalu a chrání tak sval i šlachu před přetížením. Signály ze svalového vřeténka se podílejí na různých tělesných funkcích, jako jsou motorické reflexy, kontrola a koordinace pohybů, vnímání polohy a pohybů těla (Trojan et al., 2003).

2.5 Rizikové faktory nekontaktního poranění ACL

Zranění měkkých tkání kolenního kloubu může u sportovce vést k přerušení sezóny nebo dokonce k předčasnému ukončení jeho kariéry. Jak už bylo výše zmíněno, mezi nejčastější zranění patří právě parciální nebo úplná ruptura ACL se současným poraněním menisků a chrupavky. Zranění má dlouhodobé následky, může dojít ke změně kinematiky kolenního kloubu s potencionálním vznikem osteoartrózy (Wetters et al., 2016). Rizikové faktory můžeme rozdělit na anatomické, biomechanické a neuromuskulární (Smékal & Mayer, n. d.).

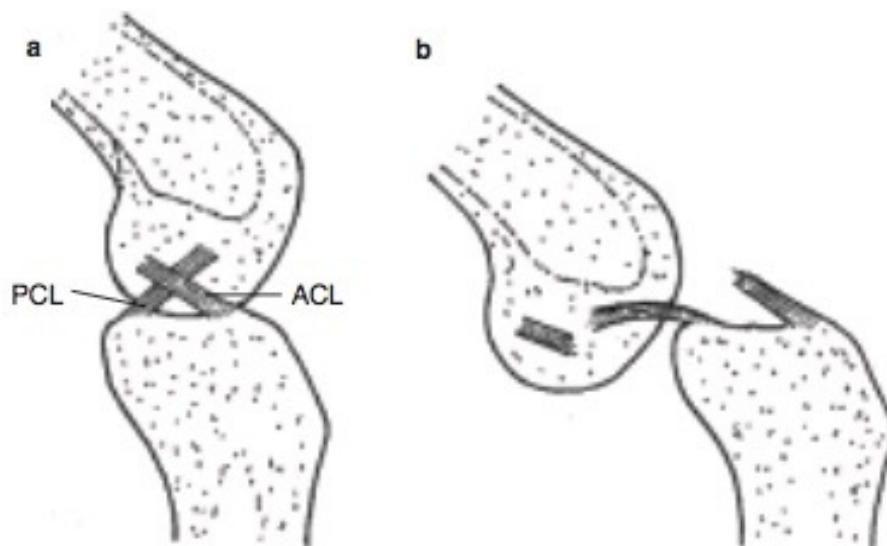
Mezi anatomické faktory týkající se přímo kolenního kloubu patří snížená síla a velikost ACL nebo zvýšený sklon tibiálního plató. Dále zde můžeme zařadit generalizovanou laxacitu vaziva, projevující se nejčastěji hyperextenzí, zvýšeným rozsahem pohybu do valgozity-varozity a interní-externí rotací tibie. Zvýšený Q-úhel bývá spojován se sníženou neuromuskulární kontrolou, relativní hypoaktivitou m. vastus medialis, kdy je větší pravděpodobnost valgózního kolapsu kolenního kloubu při dynamickém provádění pohybu, např. doskoku. Teoreticky anteriorní postavení pánve a anteverze femuru ovlivňují biomechaniku celé dolní končetiny skrze změnu svalového napětí. Dochází k prodloužení hamstringů, jejich oslabení společně s gluteálními svaly, především m. gluteus medius. Zvýšená anteverze femuru je spojená se zvýšenou subtalární pronací, která byla prokázána jako nezávislý rizikový faktor

poranění ACL (Wetters et al., 2016; Alentorn-Geli et al., 2009; Smékal & Mayer, n. d.).

Stav vazivového aparátu úzce souvisí s hormonálními vlivy, které řadíme mezi biomechanické rizikové faktory. Právě zvýšený poměr hormonů progesteron-estrogen výrazně zvyšuje riziko zranění u žen v období ovulace. Dalšími faktory je např. zvýšená hladina fytoestrogenů nebo hormonální antikoncepce (Smékal & Mayer, n. d.; Wetters et al., 2016). V rámci neuromuskulárních rizikových faktorů můžeme podle Smékala a Mayera (n. d.) vysledovat tendenci, kdy rizikové mužské koleno se velmi podobá tomu ženskému.

Při rychlých a neočekávaných změnách pohybu nebo doskocích hrají hamstringy klíčovou roli ve stabilizaci kolenního kloubu. Jejich nerovnováha v poměru použité síly a načasování ve prospěch m. quadriceps femoris je rizikovým faktorem v rámci narušení neuromuskulární kontroly dynamické stabilizace a jeho zpětné kontroly. Stabilita kloubu spoléhá také na feed-forward a feedback mechanismy, které zvyšují svalovou tuhost (Hewett et al., 1999; Wetters et al., 2016; Lehnert et al., 2016).

Feed-forward kontrola je předvídající činností svalů, která se děje před detekcí narušení smysly. Naopak feedback je stimulovaný jako korektivní odpověď neuromuskulárního systému po senzorické detekci (Riemann & Lephart, 2002a). Problém, a tím pádem vyšší riziko zranění, může nastat ve chvíli, kdy je přítomná únava. U mladých hráčů to je vždy posledních 15 minut obou poločasů (Hawkins & Fuller, 1999; Small et al., 2010). Riziko zranění stoupá s věkem, kdy dospívání a maturace mohou mít značný vliv. Dospělí jsou schopni větší pre-aktivace a forward kontroly než děti a dospívající, což znamená, že děti a dospívající jsou větší rizikovou skupinou v případě zranění v přítomnosti únavy (Lloyd, Oliver, Hughes, & Williams, 2012; Oliver & Smith, 2010).

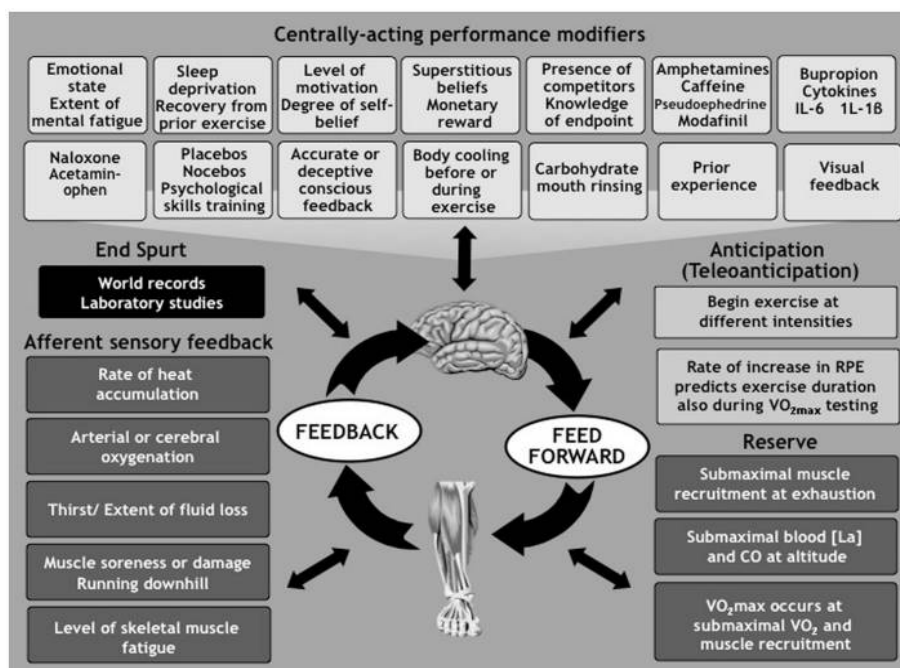


Obrázek 2. a) Normální postavení zkřížených vazů při mírné flexi KOK
 b) Ruptura ACL při posteriorní dislokaci femuru vůči tibiai
 (Hughes & Watkins, 2006).

2.5.1 Únava

Únava v pravém slova smyslu je průvodním projevem každé činnosti (Máček & Radvanský, 2011). Padua et al. (2006) definují únavu jako biomechanické a neuromuskulární faktory, které jsou ochranným mechanismem vzniku zranění. V průběhu aktivity dochází ke kumulaci únavy a následně tak i k ovlivnění daných faktorů, mezi které patří aktivace svalů, koaktivace, svalová tuhost, kinetika i kinematika. Obecně platí, že fyziologická únava se začne za určitou dobu projevovat poklesem výkonnosti zejména v obratnostní a rychlostní sféře. Jakmile ale zátěž pokračuje, nastoupí únava patologická. Tu dělíme na akutní (přetížení nebo přepětí) a chronickou (přetrénování). Všechny formy patologické únavy vylučují pokračování ve výkonu, protože mohou být spouštěcím mechanismem pro celou řadu patologických stavů (Máček & Radvanský, 2011). Máček a Radvanský (2011) popisují dvě základní příčiny vzniku únavy, kdy se jedná o únavu vznikající při svalové činnosti nebo o únavu mentální. Únava vzniká v rámci svalu na podkladě snížení energetické dodávky, akumulaci vedlejších metabolických produktů a snížení schopnosti kontraktility svalových vláken. Tento typ

únava se označuje jako periferní. Změny v nervovém systému jsou označovány jako únava centrální (Wilmore, Costill, & Kenney, 2008). Gandevia (2001) definuje centrální únavu jako postupné snižování aktivace svalu při snížené schopnosti CNS řídit svalovou aktivitu. Centrální únava může zasáhnout a zastavit aktivitu i když periferní systém nebyl doposud kompletně vyčerpán. Supraspinální únava je porucha tvorby výstupu z motorického kortexu a je řazena jako podtřída únavy centrální. Zdá se, že chrání sval před narůstající periferní únavou, ale na úkor maximálního výkonu (Gandevia, 2001). Noakes (2012) v rámci tzv. modelu centrálního regulátora („The central governor model“) ve své práci uvádí, že hlavní příčinou vzniku únavy je mozek. Ten reguluje výkon nepřetržitou úpravou počtu zapojovaných motorických jednotek daných svalových skupin. Toto se děje jako reakce na vědomé a podvědomé faktory přítomné před i během výkonu. Cílem této kontroly je zajistit organismu rezervu pro danou aktivitu, kterou musí ukončit před selháním homeostázy, kdy mozek k tomu využívá nepříjemné, ale klamné pocity únavy (Obrázek 3).



Obrázek 3. The central governor model (Noakes, 2012).

Nervový impulz se přenáší přes neuromuskulární ploténku k aktivaci membrány jednotlivých vláken, aby sarkoplazmatická membrána

uvolnila kalcium, které se váže s troponinem a iniciuje tak svalovou kontrakci. Únava se může projevit na nervosvalové ploténce, kdy zabrání přenosu ke svalovým vláknům. Některé zdroje uvádějí, že vliv může mít i zadržování vápníku v sarkoplazmatickém retikulu, což může snížit množství vápníku pro svalovou kontrakci. Únava je většinou způsobena kombinací jednotlivých faktorů, kdy záleží na typu a intenzitě zátěže, na typu svalových vláken, které jsou aktivovány nebo i na výživě (Wilmore et al., 2008). Přetížením některých funkcí zraku nebo sluchu může docházet k psychosenzorické únavě, která spolu s výše uvedenými bývá v mnoha případech v kombinaci (Máček & Radvanský, 2011).

Mentální únava je psychobiologický stav charakterizovaný pocitu únavy a nedostatkem energie a je vyvolaný dlouhodobou aktivitou náročnou na kognitivní funkce. Názory na vliv mentální únavy při vytrvalostních aktivitách se různí. Některé studie tvrdí, že mentální únava zvyšuje vnímání intenzity v průběhu aktivity, což může zhoršit pozornost, sledování hry a kognitivní kontrolu u vytrvalostně založených sportů (Badin, Smith, Conte, & Coutts, 2016). Wilmore et al. (2008) zmiňují, že nábor svalů je částečně vědomý proces. Stres vznikající při náročné fyzické aktivitě a následná únava může vést k vědomému nebo nevědomému snížení ochoty tolerovat bolest. CNS může snížit tempo prováděné aktivity na úroveň, která daného jedince ochrání před fyziologickým vyčerpáním (Wilmore et al., 2008). Další možný vznik únavy se připisuje vzestupu koncentrace serotoninu a dopaminu v CNS. V průběhu zátěže dochází k ospalosti, nevoli, ztátám chutě k dalšímu výkonu i poklesu kontraktility svalových vláken. (Máček & Radvanský, 2011). Jiné studie naopak vyvrací fakt, že dlouhodobé mentální vypětí mění nervosvalové funkce. Pageaux, Marcora a Lepers (2013) zmiňují, že při vytrvalostních aktivitách dochází k aktivaci jiných oblastí CNS.

Teorie vzniku únavy při svalové činnosti se různí. Jedna hledá její vznik při poruchách řízení a kontroly pohybu, další v poruchách svalové kontrakce ve svalovém vlákně, v zapojování aktinu a myozinu, a v jeho řídicím motoneuronu. Podle nejnovějších výzkumů se zdá, že nástup únavy při většině běžných činností není vázán na nervové řízení, vznik laktátu a metabolické acidózy, ale je spojován s vyčerpáním

energetických zdrojů. Podstatou těchto hypotéz je deficit energetických zásob nutných k provedení svalové kontrakce, deficit kyslíku na kterém je závislé spalování a snížení schopnosti svalů tyto látky využívat (Máček & Radvanský, 2011).

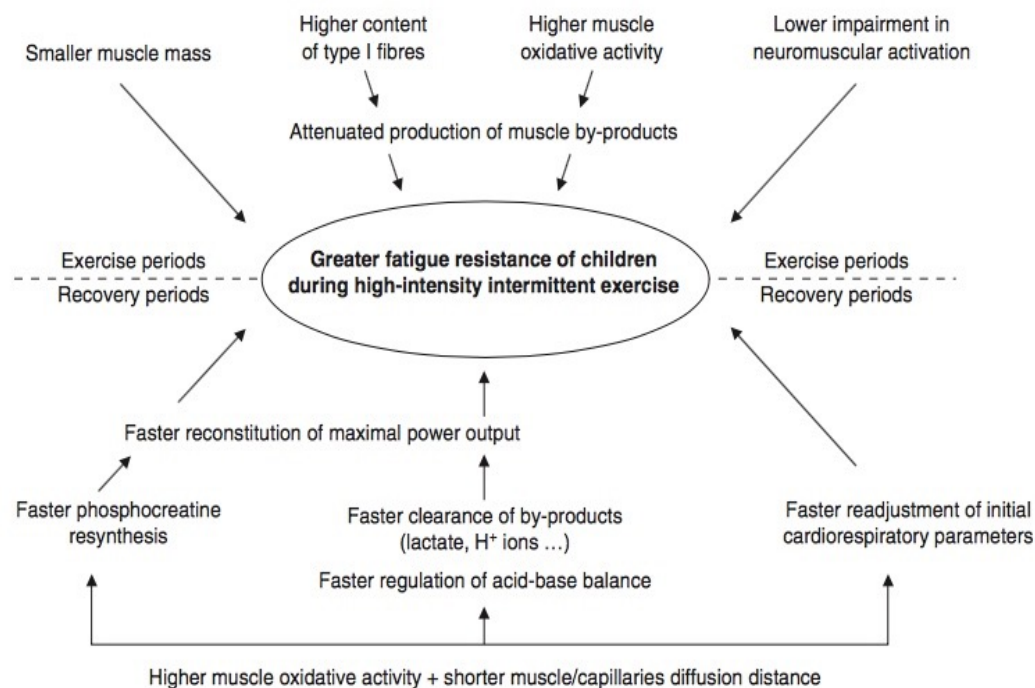
Únava snižuje nervosvalovou komponentu dynamických stabilizátorů kolenního kloubu při silovém deficitu m. quadriceps femoris a hamstringů, zvýraznění unilaterální dysbalance a zpoždění aktivace hamstringů. Je kladen velký tlak na pasivní stabilizátory a zvyšuje se riziko zranění daných struktur kolenního kloubu, zejména ACL. Riziko je největší při excentrické kontrakci. Pokud to převedeme na krokovou fázi, tak se jedná o konečnou švihovou fázi kroku, těsně před kontaktem nohy s podložkou (Lehnert et al., 2016; Oliver & Smith, 2010; Small et al., 2010). Svalové napětí hamstringů je zásadní pro maximální stabilizaci kolenního kloubu a jejich prodloužený reakční čas může negativně ovlivnit schopnost rychlé aktivace pro stabilizaci kolenního kloubu při velkých nárocích v průběhu sportovního výkonu (De Ste Croix et al., 2015). Neuromuskulární únava oblasti kolenního kloubu u dospívajících může změnit strategii udržení stability ve prospěch hlezenní strategie. Při doskocích se zvyšuje dopředná síla translace tibie, zvyšuje se valgózní a snižuje flekční postavení kolenního kloubu. Veškeré zmíněné faktory mohou vést ke snížení dynamické stability při doskoku a tím zvýšit riziko zranění (Read et al., 2015).

Rampinini et al. (2011) označili fotbal za dlouhodobou vysoce intenzivní intervalovou aktivitu, kde v průběhu utkání dochází v průměru každých 5 sekund ke změně. Celkově se jedná až o 1300 změn, kdy 200 z nich může být vysoce intenzivních. Riziko zranění se zvyšuje s postupnou kumulací únavy, což potvrzuje řada studií, které zjistily vyšší výskyt zranění v posledních minutách utkání, popř. na konci prvního poločasu. Carling, Bloomfield, Nelsen a Reilly (2008) prokázali snížení celkové uběhnuté vzdálenosti v rámci fotbalového utkání při porovnání prvního a druhého poločasu průměrně o 3,1%. Pro úspěch v utkání jsou důležité vysoce intenzivní sprinty, které se podle výzkumu Mohra, Krustrupa a Bangsba (2003) snížily až o 35-45% při porovnání prvních 15 minut prvního poločasu a posledních 15 minut druhého poločasu.

Tuto skutečnost podporuje Rampinini, Coutts, Castagna, Sassi a Impellizzeri (2007), kteří uvádí, že ti fotbalisti, kteří měli větší počet vysoce intenzivních sprintů v prvním poločase, jich následně měli výrazně méně v poločase druhém.

2.5.1.1 Únava u dětí a dospívajících

Únavové protokoly maximální intenzity ukázaly, že děti jsou méně náchylné k únavě než dospělí (De Ste Croix, Deighan, Ratel, & Armstrong, 2009). Klesající tendenci v odolnosti vůči únavě u mužů po vykonání vysoce intenzivního cvičení potvrzuje studie, která porovnávala 3 věkové kategorie s průměrným věkem 11, 14 a 24 (Dipla et al., 2009). Vysvětlením větší odolnosti na únavu u dětí může být odlišná charakteristika svalů, kdy obsahují více pomalých oxidativních vláken typu I. Jsou typická pomalou unavitelností, protože obsahují vysoké množství hemoglobinu a díky tomu mají velkou oxidační kapacitu. Děti mají také nižší množství svalové hmoty, které generuje menší absolutní sílu při vysoce intenzivních aktivitách. Nižší množství akumulace vedlejších produktů, které vznikají při svalové práci, vede ke snížení metabolického signálu, který vyvolá nižší hodnoty vnímaného úsilí. V rámci regenerace a rychlejšího zotavení po zátěži jsou zásadními faktory rychlejší resyntéza kreatinfosfátu, větší oxidativní kapacita, lepší acidobazická regulace, rychlejší přizpůsobení prvotních kardiopiračních parametrů, rychlejší odstranění metabolitů a lepší regulace pH (Ratel, Duché, & Williams, 2006).



Obrázek 4. Schematické zobrazení mechanismů vysvětlujících větší odolnost dětí vůči únavě (Ratel et al., 2006)

Existuje pouze pár studií, které se věnují vztahu mezi svalovou kontrolou a únavou u dětí a dospívajících. De Ste Croix (2012) sledoval poměr excentricky pracujících flexorů kolenního kloubu vůči koncentricky pracujícím extenzorům (H/Q) v závislosti na věku u mladých fotbalistek. Zjistil, že u třináctiletých byla stabilita snížena, u patnáctiletých zůstala nezměněna a u sedmnáctiletých se zlepšila po specifické, fotbalu podobné, činnosti. Oliver, De Ste Croix, Lloyd a Williams (2014) testovali 10 patnáctiletých hráčů fotbalu a zjistili minimální změny ve svalové tuhosti po 42 minutové specifické fotbalové aktivitě. Signifikantnější změny svalové tuhosti byly v závislosti na změnách těžiště spojené se změnami feed-forward a feedback kontroly a excentrickou aktivitou m. soleus a m. vastus lateralis. Únava vzniká při i po vysoce intenzivním tréninku nebo po fotbalovém utkání, měla negativní vliv na kvalitu krátkých přihrávek ve fotbale (Rampinini et al., 2008). Lehnert et al. (2016) testovali 18 čtrnáctiletých hráčů fotbalu před a po specifickém únavovém protokolu. Výsledky neukázaly rozdíl v

poměru H/Q, ale reaktivní síla a tuhost dolní končetiny byla zhoršena spolu se svalovou silou mediálních hamstringů a m. vastus medialis. To vedlo k delší době kontaktu nohy s podložkou spolu s méně efektivními pohyby dolních končetin a větším výkyvům těžiště. Snížení relativní i absolutní tuhosti dolní končetiny a zvýšení indexu reaktivní síly po simulovaném fotbalovém utkání ukazuje i Lehnert et al. (n. d.). Kombinací výše zmíněných faktorů dochází ke snížení svalové síly dynamických stabilizátorů kolenního kloubu i ke snížení kinetické kontroly svalů stabilizujících kyčelní kloub a zvýšení rizika zranění kolenního nebo hlezenního kloubu (Oliver et al., 2014).

2.5.2 Tuhost dolní končetiny

Vlivem únavy dochází k tuhnutí svalu, které má vliv na nervosvalovou feed-forward kontrolu jako důležitý faktor prevence zranění především při rychlých změnách směru pohybu nebo doskocích na jednu dolní končetinu. V prevenci poranění ACL v závislosti na únavě, je zásadním ukazatelem tuhost dolní končetiny (leg stiffness; LS) (Hughes & Watkins, 2006). LS byla mnoha studiemi potvrzena jako důležitý ochranný mechanismus v prevenci zranění (Alentorn-Geli et al., 2009; Lehnert et al., 2016; Riemann & Lephart, 2002b). LS je schopnost svalů zabránit pohybům v tibiofemorálním kloubu, a tak snížit dávku zatížení na ACL (Lehnert et al., n. d.). Deficit svalové síly flexorů a extenzorů kolenního kloubu a zvýšená ipsilaterální svalová nerovnováha díky nervosvalové únavě je spojená s rizikem poranění ACL (Alentorn-Geli et al., 2009). LS má pozitivní vztah k maximální rychlosti ve sprintu jak u dětí, tak dospělých (Oliver & Smith, 2010).

Studie dokazují, že vyšší LS, která je výsledkem eferentní motorické odpovědi v průběhu funkčních úkolů, např. v průběhu doskoků, zvyšuje stabilitu kloubu a snižuje riziko jeho zranění (Wikstrom et al., 2006). Riemann a Lephart (2002b) se shodují na tom, že feed-forward, stejně jako feedback kontrola, napomáhá svalové tuhosti a tím i dynamické stabilitě při doskocích. Jedním faktorem, který ovlivňuje svalovou tuhost je svalová síla. U žen je svalová síla nižší a z toho důvodu klesá i LS. Po

období puberty pouze malé množství žen ukazuje tu stejnou svalovou sílu jako muži (De Ste Croix & Korff, 2012).

V průběhu zrání a dospívání se mění hmotnost i proporcionální délka končetin, které hrají klíčovou roli v biomechanice pohybu adolescentů. Z toho důvodu De Ste Croix (2012) upozorňuje na důležitost porovnávat relativní tuhost dolních končetin (relative leg stiffness; RLS), která bere v potaz délku končetin a hmotnost jedinců.

V současnosti je málo studií, které se soustředí na efekt únavy na svalovou tuhost dolní končetiny u dětí. Například Dutto a Smith (2002) říkají, že tuhost dolní končetiny je díky únavě narušena. Naopak Oliver et al. (2014) neukazují žádné významné změny ve svalové tuhosti dolní končetiny v únavovém protokolu.

2.5.3 Index reaktivní síly

Únava také vede ke změně reaktivní síly, kterou měříme pomocí indexu reaktivní síly (reactive strength index; RSI). RSI je individuální schopnost změny excentrické kontrakce na kontrakci koncentrickou v průběhu cyklu natažení a zkrácení (stretch-shortening cycle), který můžeme popsat jako rychlé aktivní protažení svalu (excentrickou kontrakci) následovanou okamžitým zkrácením (koncentrickou kontrakci) daného svalu. Je velice individuální a měří se jako poměr výšky skoku a doby trvání kontaktu s odrazovou podložkou (Lloyd et al., 2012). Využívá se ke kontrole namáhání svalově-šlachového komplexu v průběhu plyometrického cvičení (Lehnert et al., n. d.). Rachner et al. (2012) ve své 10leté studii tvrdí, že nízký RSI pravděpodobně způsobený větší svalovou prodlevou, tím pádem i nižší nervosvalovou aktivitou, je rizikovým faktorem pro zranění ACL.

2.6 Shrnutí syntézy poznatků

Riziko zranění ve sportu u mladých sportovců se zvyšuje v různých stádiích růstu a zrání z důvodu výrazných změn postavy a hmotnosti, kdy největší riziko zranění mají fotbalisti ve věku 13-15 let. Výsledky studií poukazují na zvýšený počet nekontaktních poranění KOK ke konci

utkání, resp. poločasu, a to při pohybech jako jsou dopady po výskocích, rychlé změny směru nebo pohyby stranou. Významným faktorem, který přispívá ke zvýšení rizika zranění je únava, která ovlivňuje dynamickou stabilitu KOK v důsledku změn úrovně neuromuskulárních funkcí v průběhu utkání i tréninků a klade větší nároky na pasivní stabilizátory KOK. Z výše uvedených studií vyplývá, že není dostatek studií zaměřených na změny svalové síly, tuhosti dolní končetiny a reaktivní síly v průběhu soutěžního mikrocyklu jako následek únavy u adolescentů.

3 CÍLE A ÚKOLY PRÁCE

3.1 Cíl práce

Cílem práce je stanovit změny neuromuskulárního řízení v oblasti kolenního kloubu u adolescentních fotbalistů v průběhu soutěžního mikrocyklu a posoudit s tím spojené riziko zranění v důsledku únavy.

3.2 Dílčí cíle

1) Posoudit v průběhu soutěžního mikrocyklu vliv únavy na svalovou komponentu a nervosvalovou komponentu dynamické stability KOK u adolescentních hráčů kategorie U13.

2) Posoudit v průběhu soutěžního mikrocyklu vliv únavy na svalovou komponentu a nervosvalovou komponentu dynamické stability KOK u adolescentních hráčů kategorie U15.

3) Porovnat vliv únavy na svalovou komponentu a nervosvalovou komponentu dynamické stability KOK u adolescentních hráčů kategorie U13 a U15.

3.3 Výzkumné otázky

VO1: Bude v průběhu soutěžního mikrocyklu kvalita neuromuskulárního řízení KOK u hráčů kategorie U15 vyšší než u kategorie U13?

VO2: Dojde v průběhu soutěžního mikrocyklu, resp. před soutěžním utkáním k zhoršení parametrů sledovaných ukazatelů svalové komponenty a nervosvalové komponenty dynamické stability KOK v důsledku předchozího soutěžního a tréninkového zatížení u adolescentních hráčů kategorie U13?

VO3: Dojde v průběhu soutěžního mikrocyklu, resp. před soutěžním utkáním k zhoršení parametrů sledovaných ukazatelů svalové komponenty a nervosvalové komponenty dynamické stability KOK v důsledku předchozího soutěžního a tréninkového zatížení u adolescentních hráčů kategorie U15.

VO4: Budou se u hráčů kategorie U13 a U15 v průběhu soutěžního mikrocyklu, resp. před soutěžním utkáním měnit parametry sledovaných ukazatelů svalové komponenty a nervosvalové komponenty dynamické stability KOK odlišně?

4 METODIKA MĚŘENÍ

4.1 Charakteristika souboru

Měření se zúčastnilo celkem 26 fotbalistů ze sportovního klubu Sigma Olomouc, a.s. kategorií U13 a U15 (Tabulka 1). Jednalo se o soubor hráčů sledovaných v rámci dlouhodobého projektu GAČR - Accumulated effects of fatigue on neuromuscular control of the knee and injury risk in youth athletes during growth and maturation.

Všichni probandi byli seznámeni s průběhem měření, jeho cíli i metodikou. Písemnou formou byli také informováni zákonní zástupci, kteří svým podpisem potvrdili informovaný souhlas (Příloha 1) s výzkumem a s použitím získaných dat pro vědecké účely. Výzkum byl schválen dne 19. 3. 2015 Etickou komisí FTK UP v Olomouci (Příloha 2).

Měření se účastnili pouze zdraví jedinci. Důvodem k vyřazení ze studie byl úraz svalů stehna nebo kolenního kloubu v posledních šesti měsících a jiné zranění limitující probandy provést zařazené motorické testy. Informace o předchozích zraněních, dominanci a vedlejších pohybových aktivitách byly zjišťovány v rámci familiarizace. Ta probíhala týden před prvním měřením, kdy si jednotlivci vyzkoušeli jednotlivé skoky a byli podrobeni antropometrické analýze.

Tabulka 1. Charakteristika souboru U13 a U15

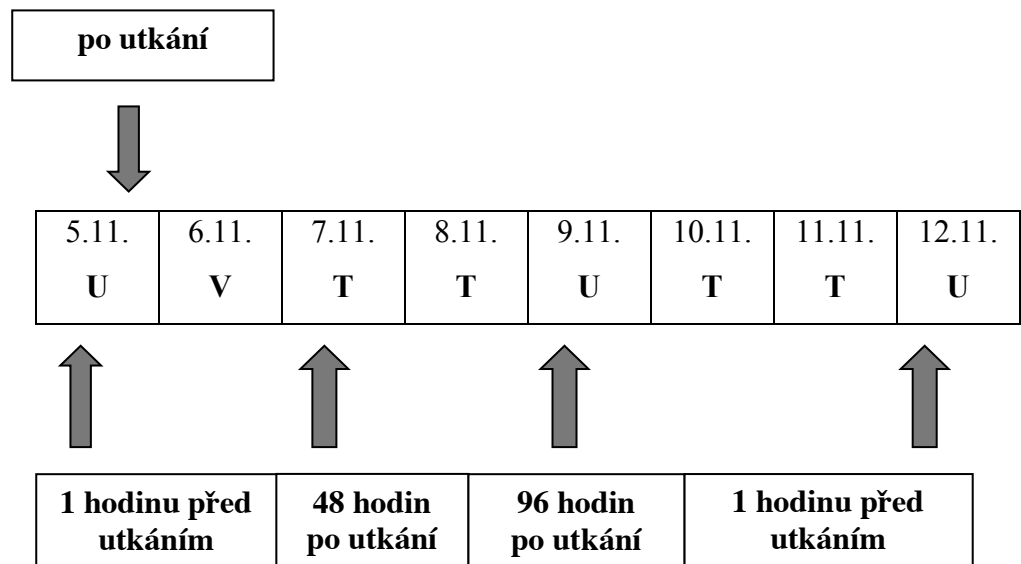
Proměnná	<i>n</i>	<i>M</i> ± <i>SD</i>	<i>Mdn</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
věk U13	15	13,55 ± 0,34	13,66	13,01	13,94
hmotnost U13	15	48,60 ± 9,99	46,90	37,40	77,00
výška U13	15	162,40 ± 9,34	161,60	146,00	181,00
věk U15	11	15,73 ± 0,28	15,70	15,27	16,32
hmotnost U15	11	66,33 ± 4,91	63,60	62,30	76,30
výška U15	11	178,84 ± 2,16	179,00	174,00	182,40

Pokračování Tabulky 1.

Vysvětlivky: n – rozsah souboru; M – aritmetický průměr; Mdn – medián; Min – minimum; Max – maximum; SD – směrodatná odchylka

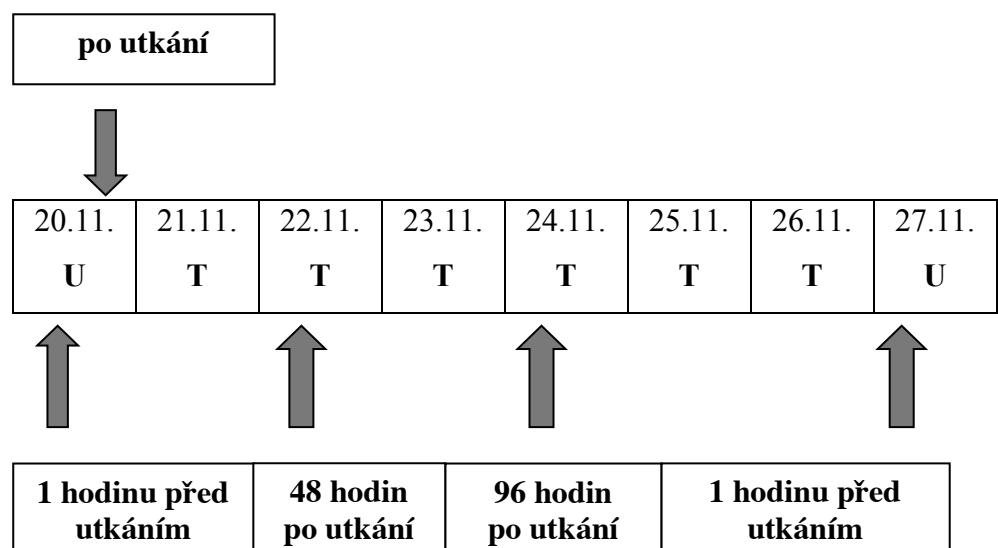
4.2 Termíny měření

Hráči byli testováni 5x týdně, a to před utkáním, ihned po něm (maximálně do 2 hodin), 48 hodin po utkání, 96 hodin po utkání a následně těsně před dalším utkáním. Hráči U13 byli měřeni v týdnu 5. – 12. 11. 2016 (Obrázek 5) a U15 v týdnu 20. – 26. 11. 2016 (Obrázek 6).



Obrázek 5. Harmonogram měření zbytkové únavy U13

Vysvětlivky: T – trénink, U – utkání, V – volno



Obrázek 6. Harmonogram měření zbytkové únavy U15

Vysvětlivky: T – trénink, U – utkání

4.3 Postup měření

Měření probíhalo dle předem dohodnutého harmonogramu v tělocvičnách, ve kterých probíhá tréninkový proces. Testování byli nejprve znovu seznámeni s průběhem měření, vyplnili VAS škálu a poté následovalo individuální rozcvičení.

V rámci projektu hráči absolvovali rovněž další testy, které byly součástí měření v rámci projektu GAČR. Kromě námi sledovaných parametrů, mezi které patří LS (20 submaximálních vertikálních skoků) a RSI (5 maximálních vertikálních skoků), se v průběhu 5 maximálních vertikálních skoků elektromyograficky měřilo elektromechanické zpoždění ze svalů m. semitendinosus, m. biceps femoris a m. gastrocnemius pomocí fixních elektrod. Dále se jednalo o test single leg counter movement jump (CMJ), tedy vertikální skok s protipohybem po odrazu z jedné dolní končetiny, který umožní pomocí dvou kamer Quintic GigE (Quintic Consultancy Ltd, Sutton Coldfield, UK) z pozice frontální a sagitální 2D biomechanickou analýzu doskokových mechanismů.

Tuhost dolní končetiny

Z testu 20 opakovaných submaximálních vertikálních skoků odrazem obounož jsme stanovili absolutní tuhost dolních končetin, kdy k měření bylo použito dynamografického plata PS-2142 (Pasco, Roseville, USA) a frekvence skoků byla 2,5 Hz. Naměřené údaje byly zpracovány pomocí softwaru Jump Analyzer (Lloyd et al., 2012).

Absolutní tuhost dolních končetin, kterou jsme potřebovali k výpočtu relativní tuhosti, jsme vypočítali dosazením do rovnice (Arampatzis, Bruggemann, & Metzler, 1999; Dalleau, Belli, Viale, Lacour, & Bourdin, 2004):

$$LS = (\text{tělesná hmotnost} \times \pi [FT + CT]) / CT^2 ((FT + CT/\pi) - (CT/4))$$

FT flight time (doba letu)

CT contact time (doba kontaktu)

π matematická konstanta

RLS byla vypočtena normalizací absolutní tuhosti dolních končetin pomocí délky dolní končetiny a tělesné hmotnosti (McMahon & Cheng, 1990).

Provedení testu: Proband v běžné sportovní obuvi je vyzván k zaujetí postoje na plošině s rukama v bok tak, aby byla váha rozložena rovnoměrně na obě končetiny. Poté sám zahájí 20 opakovaných skoků s minimální flexí kolen a odrazem z přední části nohou. V průběhu by měl udržet frekvenci 2,5 Hz, která je udržována pomocí mechanického metronomu. Jeden pokus je zkušební, dva měřené a mezi pokusy je 3 minutová pauza. Pro statistické měření se hodnotí skoky 5 – 15.

Index reaktivní síly

RSI byl odvozen z údajů naměřených v testu 5 maximálních vertikálních skoků. Měření bylo provedeno na výskokovém ergometru FITRO Jumperu (Fitronic, Slovensko).

Provedení testu: Proband v běžné sportovní obuvi je vyzván k zaujetí postoje na FITRO Jumperu tak, aby byla váha rozložena rovnoměrně na obě končetiny. Poté na pokyn provede 6 maximálních výskoků s minimální dobou kontaktu, s minimální flexí kolen se současným švihem paží. Po posledním doskoku zůstane vzpřímeně stát. Měření probíhá po prvním výskoku (tj. první se nezapočítává). Jeden pokus je zkušební, dva měřené a mezi pokusy je 1 minutová pauza. Hodnotí se průměr všech měřených skoků a vypočítá jako poměr výšky skoku (m) a doby kontaktu s podložkou (s) (Flanagan & Comyns, 2008).

Tréninkové zatížení bylo monitorováno pomocí dotazníku k pohybové aktivitě (Příloha 3). Jedinci si do dotazníku zapisovali druh aktivity, její intenzitu a čas vykonání. Časová pásma byla rozdělena na 4 kategorie v průběhu týdne (pondělí – pátek): před vyučováním, během vyučování, během polední přestávky, po vyučování. V průběhu víkendu (sobota –

neděle) byla rozdělena na 3 kategorie: dopoledne do 12 hodin, odpoledne mezi 12 a 16 hodinou a večer po 16 hodině.

Intenzita zatížení v tréninku/utkání byla sledována pomocí Borgovy škály (Příloha 4). Na stupnici 1-10 měli zakroužkovat číslo, které nejvíce vypovídá o pociťované intenzitě tréninku nebo utkání.

Objem tréninkového zatížení hráčů byl monitorován pomocí záznamu zatížení v kooperaci s trenérem (Příloha 5 a 6).

Pro zaznamenání *nástupu svalové bolesti* byla použita VAS škála, kterou jedinci vyplňovali před každým měřením (Příloha 7).

4.4 Statistické zpracování dat

Ke statistickému zpracování dat byl využit software Statistika (verze 12, StatSoft, Inc., Tulsa, USA). U všech sledovaných parametrů byla provedena základní popisná charakteristika (aritmetický průměr, medián, minimální a maximální hodnota, směrodatná odchylka). Ke stanovení významnosti rozdílů sledovaných parametrů byla použita Friedmanova analýza variance (ANOVA) a pro hlubší analýzu post-hoc Bonferroniho test. Stanovení významnosti rozdílů bylo posuzováno na hladině statistické významnosti $p < 0,05$.

5 VÝSLEDKY

Základní statistické charakteristiky sledovaných parametrů skupiny U13, U15 jsou v následujících Tabulkách 2 a 3, hodnoty pro celou skupinu sledovaných hráčů bez ohledu na věk jsou uvedeny v Příloze 8.

Tabulka 2. Základní statistické charakteristiky sledovaných parametrů u skupiny U13

Měření	<i>M</i>	<i>Mdn</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>SD</i>
RSI 1	2, 54	2, 53	1, 77	3, 02	0, 32
RSI 2	2, 41	2, 38	1, 68	3, 02	0, 33
RSI 3	2, 55	2, 42	1, 95	3, 15	0, 30
RSI 4	2, 43	2, 45	1, 88	3, 22	0, 34
RSI 5	2, 68	2, 73	2, 03	3, 22	0, 32
RLS 1	35, 64	33, 10	28, 49	49, 62	6, 67
RLS 2	35, 25	35, 78	27, 86	47, 40	5, 64
RLS 3	32, 05	30, 83	23, 90	45, 32	5, 75
RLS 4	32, 53	32, 78	25, 16	38, 54	4, 32
RLS 5	34, 32	34, 00	24, 61	42, 83	5, 54

Vysvětlivky: *M* – aritmetický průměr; *Mdn* – medián; *Min* – minimální hodnota; *Max* – maximální hodnota; *SD* – směrodatná odchylka; RSI – index reaktivní síly; RLS – relativní tuhost dolní končetiny; 1, 2, 3, 4, 5 – měření

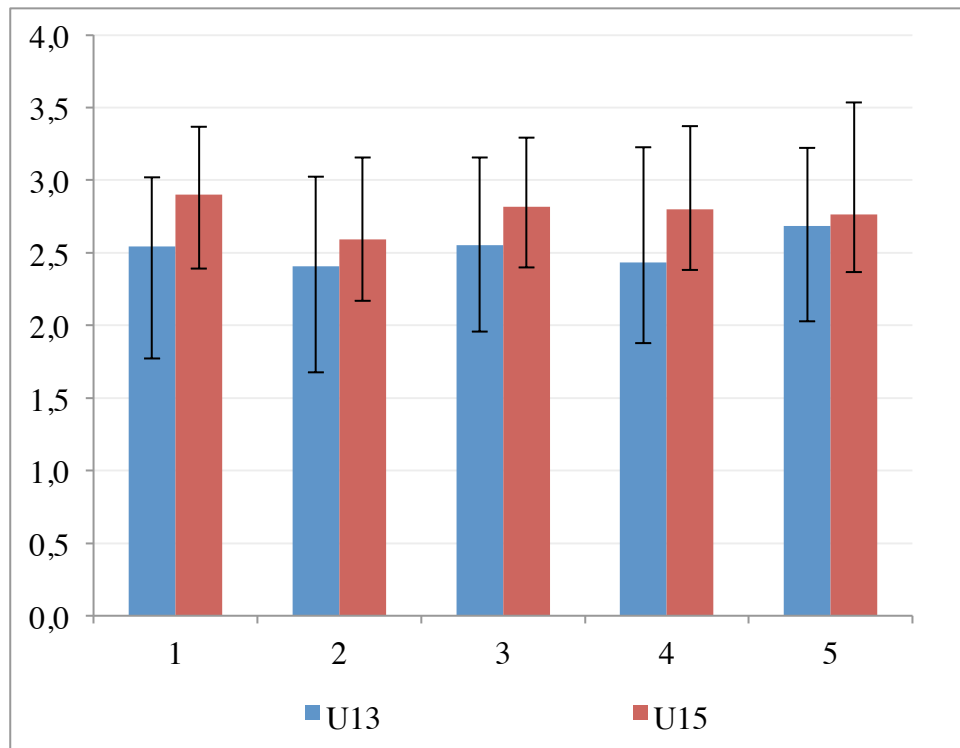
Tabulka 3. Základní statistické charakteristiky sledovaných parametrů u skupiny U15

Měření	<i>M</i>	<i>Mdn</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>SD</i>
RSI 1	2,90	3,01	2,39	3,37	0,30
RSI 2	2,59	2,57	2,17	3,16	0,30
RSI 3	2,82	2,81	2,40	3,29	0,32
RSI 4	2,80	2,86	2,38	3,37	0,29
RSI 5	2,76	2,83	2,37	3,53	0,36
RLS 1	40,31	38,80	30,57	48,23	5,29
RLS 2	41,08	40,45	35,25	48,90	4,25
RLS 3	38,48	39,06	33,85	42,91	3,36
RLS 4	38,23	38,48	32,00	46,52	4,70
RLS 5	37,78	37,35	31,85	43,57	4,21

Vysvětlivky: *M* – aritmetický průměr; *Mdn* – medián; *Min* – minimální hodnota; *Max* – maximální hodnota; *SD* – směrodatná odchylka; RSI – index reaktivní síly; RLS – relativní tuhost dolní končetiny; 1, 2, 3, 4, 5 – měření

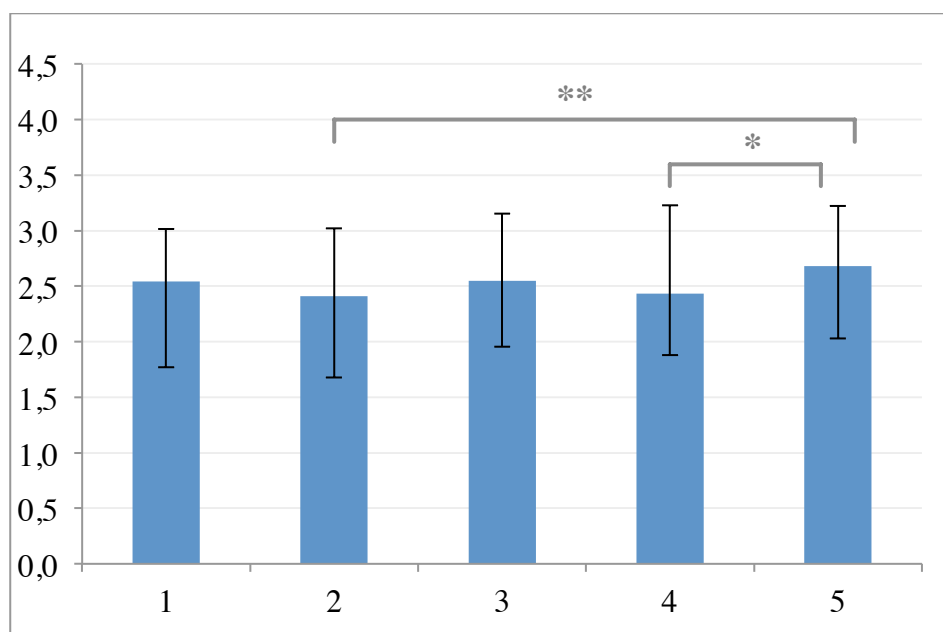
Index reaktivní síly (RSI)

Friedmanova ANOVA zjistila statisticky významný rozdíl v hodnotách pěti měření RSI bez ohledu na jednotlivé dny a věkové skupiny ($p < 0,001$; $F = 8,308$) a na statisticky významný ($p = 0,003$; $F = 4,50$) efekt věku na změny hodnot RSI v průběhu mikrocyklu (Obrázek 7). Pro hlubší analýzu byl použit post-hoc Bonferroniho test, který ukázal na statisticky významný rozdíl mezi druhým a pátým měřením u skupiny U13 ($p = 0,003$), mezi čtvrtým a pátým měřením ($p = 0,013$) a mezi prvním a druhým měřením u skupiny U15 ($p < 0,001$). V Obrázcích 8 a 9 jsou znázorněny průměrné hodnoty u RSI v průběhu týdne u skupin U13 a U15.



Obrázek 7. Porovnání průměrných hodnot RSI pěti měření u skupin U13 a U15 v průběhu mikrocyklu

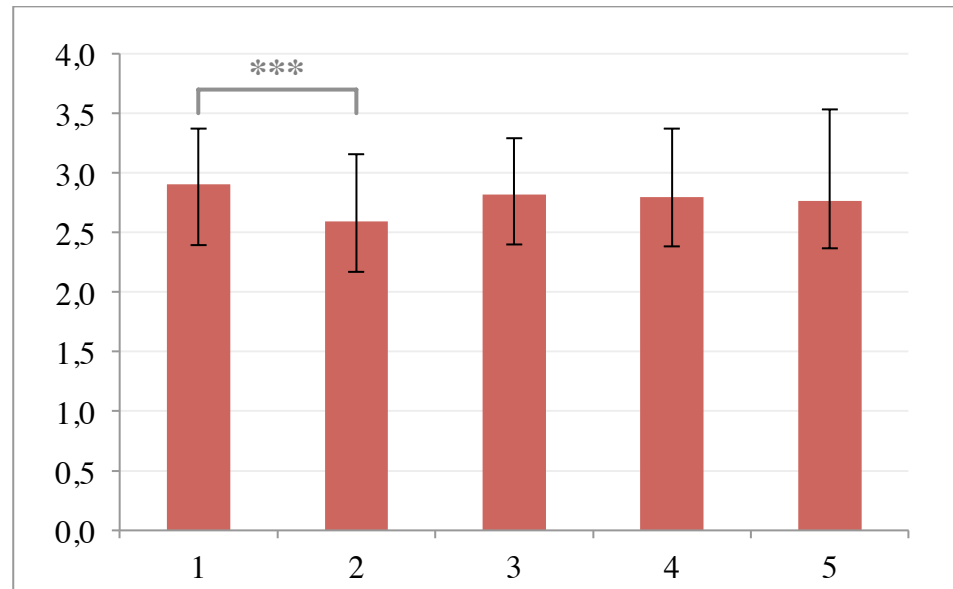
Vysvětlivky: 1 – měření před utkáním, 2 – měření po utkání, 3 – měření 48 hod po utkání, 4 – měření po 96 hod po utkání, 5 – měření před dalším utkáním



Obrázek 8. Průměrné hodnoty RSI pro pět měření u skupiny U13 v průběhu mikrocyklu

Pokračování Obrázku 8.

Vysvětlivky: 1 – měření před utkáním, 2 – měření po utkání, 3 – měření 48 hod po utkání, 4 – měření po 96 hod po utkání, 5 – měření před dalším utkáním, * – $p = 0,013$, ** – $p = 0,003$

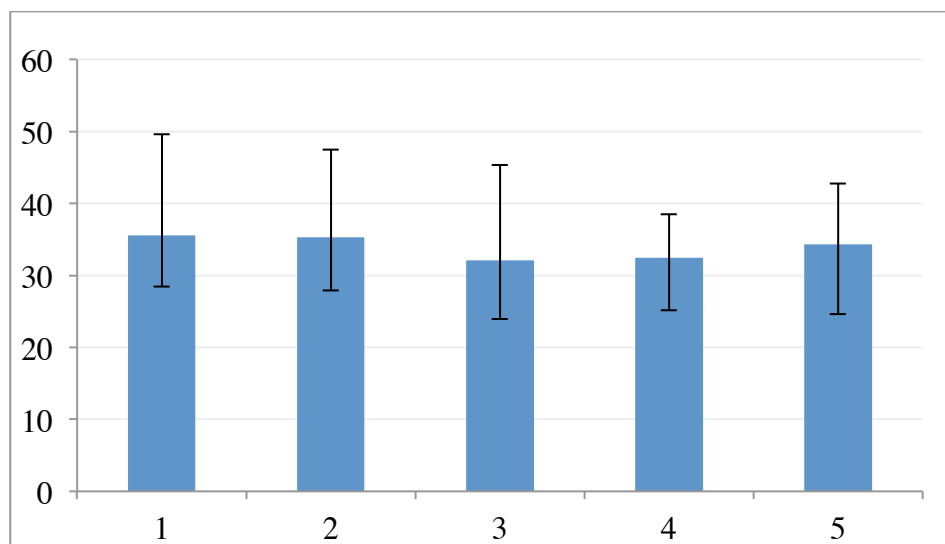


Obrázek 9. Průměrné hodnoty RSI pro pět měření u skupiny U15 v průběhu mikrocyklu

Vysvětlivky: 1 – měření před utkáním, 2 – měření po utkání, 3 – měření 48 hod po utkání, 4 – měření po 96 hod po utkání, 5 – měření před dalším utkáním, *** – $p < 0,001$

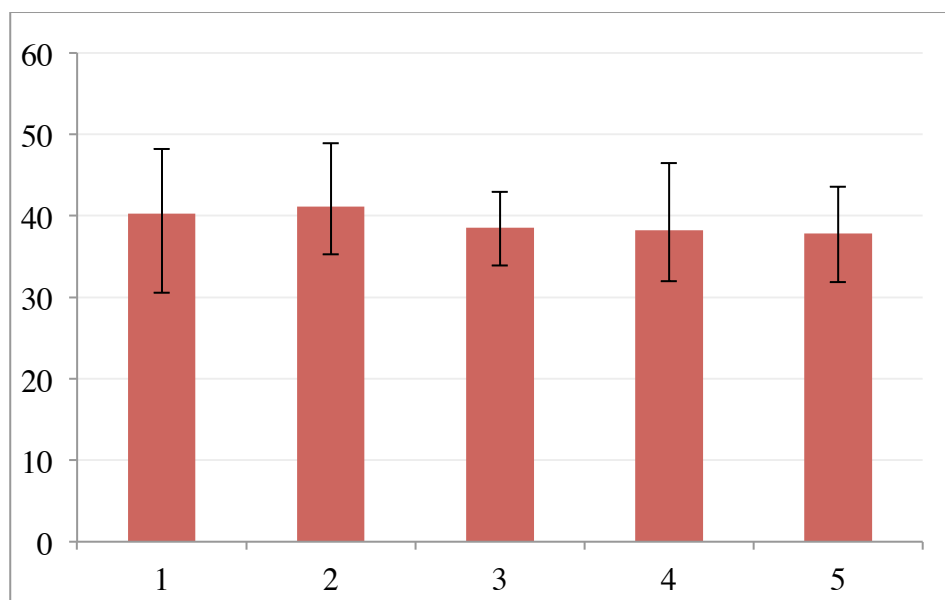
Relativní tuhost dolních končetin (RLS)

Friedmanova ANOVA zjistila statisticky významný rozdíl v hodnotách pěti měření RLS bez ohledu na jednotlivé dny a věkové skupiny ($p = 0,03$; $F = 2,861$). Efekt věku na změny hodnot RLS v průběhu mikrocyklu nebyl prokázán ($p = 0,893$; $F = 0,275$). Pro hlubší analýzu byl použit post-hoc Bonferroniho test, který zjistil statisticky nevýznamné snížení hodnot RLS u obou skupin. V Obrázcích 10 a 11 jsou znázorněny hodnoty RLS v průběhu týdne u skupin U13 a U15 a jejich porovnání v Obrázku 12.



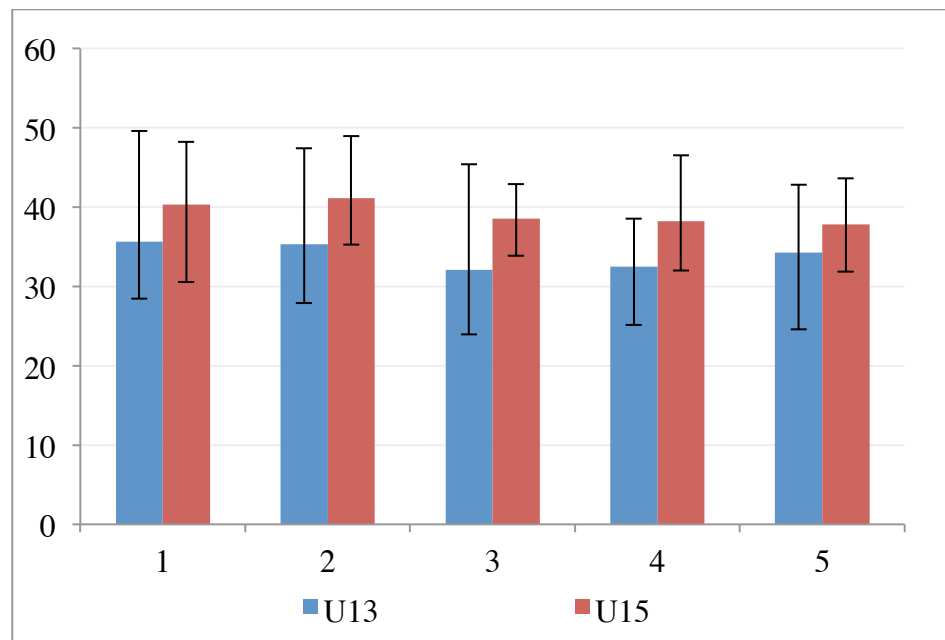
Obrázek 10. Průměrné hodnoty RLS pro pět měření u skupiny U13 v průběhu mikrocyklu

Vysvětlivky: 1 – měření před utkáním, 2 – měření po utkání, 3 – měření 48 hod po utkání, 4 – měření po 96 hod po utkání, 5 – měření před dalším utkáním



Obrázek 11. Průměrné hodnoty RLS pro pět měření u skupiny U15 v průběhu mikrocyklu

Vysvětlivky: 1 – měření před utkáním, 2 – měření po utkání, 3 – měření 48 hod po utkání, 4 – měření po 96 hod po utkání, 5 – měření před dalším utkáním



Obrázek 12. Porovnání průměrných hodnot RLS pro pět měření u skupin U13 a U15 v průběhu mikrocyklu

Vysvětlivky: 1 – měření před utkáním, 2 – měření po utkání, 3 – měření 48 hod po utkání, 4 – měření po 96 hod po utkání, 5 – měření před dalším utkáním

6 DISKUZE

Pokud je autorce známo, tato studie se jako první věnuje výzkumu míry zhoršení neuromuskulárního řízení v oblasti kolenního kloubu a s tím spojeného zvýšeného rizika zranění, jako následek únavy související s věkem, resp. růstem a zráním v průběhu mikrocyklu. Je tedy jedinou studií, která jako únavový protokol využívá soutěžní utkání a tréninky v průběhu týdne. Veškerá měření proběhla v týdnu, který byl dle trenérů velmi častým, až typickým mikrocyklem pro dané věkové skupiny.

Vliv věku na RLS a RSI

Výsledky této studie potvrzují vliv věku na hodnoty RSI, kde byl zjištěn staticky významný rozdíl ($p = 0,003$; $F = 4,50$). V průběhu všech měření v mikrocyklu byly hodnoty RSI u skupiny U15 průměrně o 0,25 vyšší. Obdobně také hodnoty RLS byly průměrně o $5,22 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$ vyšší v porovnání s mladší skupinou U13, ale statisticky významný rozdíl zjištěn nebyl ($p = 0,893$; $F = 0,275$). To v případě bez závislosti na únavě, resp. při prvním měření před utkáním, i v závislosti na únavě, tedy po utkání a při jednotlivých měřeních v průběhu týdne.

Tuto skutečnost potvrzuje studie, která ve skupině 32 devítiletých, dvanáctiletých a patnáctiletých aktivních chlapců porovnávala hodnoty RSI (výška skoku/doba kontaktu) a LS (nejvyšší reakční síla při odrazu/nejvyšší hodnota posunu těžiště). Jednalo se pouze o porovnání věkových skupin v průběhu dospívání bez závislosti na aktivitě. Průměrné hodnoty RSI byly u skupiny dvanáctiletých a patnáctiletých signifikantně ($p < 0,02$) vyšší než u nejmladší skupiny devítiletých. Výsledky submaximálních vertikálních skoků ukázaly signifikantně vyšší ($p < 0,01$) hodnoty LS při porovnání skupiny patnáctiletých s mladšími skupinami (Lloyd, Oliver, Hughes, & Williams, 2012).

Lloyd, Oliver, Hughes, & Williams (2011) zjišťovali vliv věku na zrychlenou adaptaci při výkonu stretch-shortening cyklu u 205 probandů ve věku 7-17 let a ve výsledcích konstatovali narůstající trend LS i RSI v závislosti na věku.

Oliver a Smith (2010) došli k obdobným závěrům, kdy porovnávali strategii neurální kontroly mezi skupinou 11 chlapců (11-12 let) a 10 mužů (19-30 let) při různých frekvencích skoků (1,5 Hz, 3,0 Hz a dle jejich výběru). Při nízké frekvenci skoků (1,5 Hz) nepozorovali žádný rozdíl RLS mezi skupinami, ale při frekvenci 3 Hz měli muži kromě signifikantně kratší doby kontaktu ($p = 0,013$), delší doby letové fáze ($p = 0,002$) i vyšší RLS ($p < 0,001$).

Vyšší hodnoty RLS, která byla standardizována délkou dolní končetiny a tělesnou váhou (McMahon & Cheng, 1990), u skupiny U15 poukazují na fakt, že věkové rozdíly nebudou závislé pouze na antropometrických změnách v průběhu dospívání. Lloyd et al. (2012) z výsledků své studie uvádí, že delší doba kontaktu, signifikantně kratší doba letu, signifikantně nižší aktivita m. soleus v průběhu krátkodobého napínacího reflexu a signifikantně nižší hodnoty absolutní LS i RLS u mladší skupiny ovlivňují reflexní aktivitu a celkovou neurální regulaci LS u mladistvých.

Uvedené studie tedy potvrzují, že u dospívajících chlapců je evidentní efekt zvyšování RLS, který je spojený s dospíváním a rozvojem motorické kontroly. Vlivem dospívání se zvyšuje reflexní svalová aktivita ihned po kontaktu s podložkou a spolu s krátkodobými napínacími reflexy a větší dominancí supraspinální feed-forward neurální kontroly přispívají k regulaci cyklu natažení a zkrácení v průběhu maximálních i submaximálních vertikálních skoků (Lloyd et al., 2011). Spolu tak vedou k vyšším hodnotám RLS (Lloyd et al., 2012; Oliver & Smith, 2010). U mladší skupiny je LS v průběhu rychlých skoků regulovaná supraspinálními reflexy s delší dobou trvání jako kompenzace nižší feed-forward aktivity (Hobara, Kanosue, & Suzuki, 2007).

Co vede k výše zmíněné neurální odpovědi není zcela jasné. Zdá se, že změny odráží integrovanou reakci ovlivněnou vývojovými charakteristikami vnitřních faktorů svalově-šlachového systému. Množství i velikost Golgiho šlachových tělísek je značně nižší u dospělých v porovnání s dětmi, zatímco geometrické uspořádání svalově-šlachového spojení podporuje snížení zatížení při přenosu síly u dospělých. Vývoj intrafuzálních vláken v průběhu dospívání může také

utlumit excitační odpověď na stimul z protažení u dětí. Dalším faktorem může být nižší množství elastických komponentů a poddajných svalově-šlachových struktur, které sníží odpověď napínacího reflexu (Grosset, Mora, Lambertz, & Perot, 2007; Hobara et al., 2007; Lloyd et al., 2011).

Změny RSI v průběhu soutěžního mikrocyklu

Únava vede ke změnám reaktivní síly v průběhu cyklu natažení a zkrácení, který můžeme popsat jako rychlé aktivní protažení svalu (excentrickou kontrakci) následovanou okamžitým zkrácením (koncentrickou kontrakcí) daného svalu. Doposud existuje málo studií, které se věnují změnám RSI po zátěži u mladých a dospívajících.

V případě sledovaného parametru RSI, jsme v naší studii u obou skupin pozorovali pokles hodnot mezi prvním a druhým měřením, které odpovídalo měření před a po utkání. U skupiny U15 byl tento rozdíl statisticky významný ($p < 0,001$). Individuální rozdíly nebyly příliš velké a obě skupiny ukázaly většinový pokles (U15 $n = 10$, U13 $n = 11$) a minimální nárůst (U15 $n = 1$, U13 $n = 4$).

Naše výsledky korespondují s výsledky recentní studie, která se zjišťovala efekt specifické, fotbalu podobné, zátěže na aktivitu svalových skupin dolní končetiny, reaktivní sílu, svalovou tuhost a funkční poměr aktivace hamstringů/m. quadriceps femoris u skupiny fotbalistů. Jednalo se o 18 mladých elitních fotbalistů ve věku 14 let, kteří trénovali průměrně 4x týdně (Lehnert et al., 2016). Únavový protokol SAFT⁹⁰ se skládal z 2 x 35 minut a odpovídal délce utkání v rámci dané věkové skupiny. Jednalo se o běžecký únavový protokol, který se uskutečnil na 20m dráze s kužely, které simulovaly požadavky rychlé změny směru v rámci utkání. Tempo a povely na změnu směru byly udávány pomocí přehrávače. Výsledky ukázaly statisticky významný rozdíl hodnot RSI ($p < 0,05$) (Lehnert et al., 2016).

Naopak studie Lehnert et al. (n. d.) zjistila zvýšení hodnot RSI o 7,5% u skupiny 20 hráčů fotbalu ve věku 15 let po únavovém protokolu SAFT⁹⁰. Protokol byl stejný jako výše popsáný, pouze se dle vyšší věkové kategorie lišila jeho délka. Skládal se ze dvou 40 minutových částí, které simulovaly fotbalové utkání. Zvýšení hodnot v jejich studii

podporují hodnoty maximálního momentu síly m. quadriceps femoris, které neukázaly signifikantní pokles po únavovém protokolu SAFT⁹⁰. Ani výsledky Borgovy škály subjektivně vnímaného úsilí neukázaly vysoké hodnoty z čehož autoři usuzují, že únavový protokol SAFT⁹⁰ neposkytnul dostatečně náročný stimul jako soutěžní utkání nebo trénink.

Pro měření RSI obě výše uvedené se studie využily drop jump test. Probandi seskakovali z bedny o výšce 30 cm na zem a následně se opět odrazili. Po doskoku na zem se snažili minimalizovat dobu kontaktu s podložkou. K hodnocení se použil optický měřicí systém Optojump-next (Microgate, Bolzano, Italy) (Dalleau et al., 2004).

V naší studii při třetím měření 48 hodin po utkání hodnoty RSI opět vzrostly u obou skupin. I když skupina U15 nedosáhla původní úrovně naměřených hodnot, byly tyto hodnoty druhé nejvyšší z celého týdne a následně už jen mírně klesaly. Tato tendence snižování RSI, tedy nedostatečné regenerace, je ve shodě se záznamem tréninkového zatížení (Příloha 6), z kterého vyplývá, že každodenní tréninkové jednotky nikdy nebyly kratší než 75 minut. Ve srovnání s Borgovou škálou vnímaného úsilí jsou hodnoty nejvyšší po utkání a během dvou dnů se sníží až o 50%, následně ve zbytku týdne jsou cca o 20% nižší než hodnoty po utkání. Můžeme tedy říci, že tréninkové zatížení bylo vysoké a i když se subjektivně vnímané úsilí v průběhu týdne snižovalo, regenerace hráčů nebyla dostatečná. Pravděpodobně docházelo ke kumulaci únavy, která je rizikovým faktorem neuromuskulární stabilizace a může vést ke zvýšení rizika úrazu kolenního kloubu.

U skupiny U13 byly hodnoty při třetím měření dokonce vyšší než před utkáním, což ukazuje na dostatečnou regeneraci a žádnou zbytkovou únavu díky dnu volna, který měli po utkání. Čtvrté měření, které se konalo před mistrovským utkáním konaným uprostřed týdne, což bylo pro podzimní část sezóny skupiny U13 typické, zjistilo překvapivý většinový pokles hodnot u 10 probandů ze 13 průměrně o 0,12. Toto snížení, které bylo menší pouze o desetinu než po utkání, bylo pravděpodobně způsobeno větším zatížením jak v rámci tréninku, který byl dva dny dvoufázový o celkové délce trvání 180 minut, tak i přidanou hodinovou regenerací v bazénu. Tomu odpovídají i průměrné hodnoty

Borgovy škály, které byly při čtvrtém měření dokonce vyšší než po utkání. Při pátém měření došlo k opětovnému nárůstu RSI, který nakonec mírně převyšoval původní hodnoty z prvního měření. Toto navýšení hodnot mohlo být způsobeno kratší dobou tréninků trvajících 90 minut. Statisticky významné rozdíly byly mezi druhým a pátým měřením u skupiny U13 ($p = 0,003$) a mezi čtvrtým a pátým měřením ($p = 0,013$), které vždy odpovídají navýšení hodnot v rámci regenerace po utkání nebo snížení zatížení. Fakt, že i při vyšší tréninkové zátěži v průběhu týdne u skupiny U13, která bylo skoro dvojnásobná oproti U15, došlo k dostatečné regeneraci RSI, ukazuje na menší náchylnost mladších k únavě. Toto zjištění potvrzují únavové protokoly, které ukázaly klesající tendenci v odolnosti vůči únavě s chronologickým věkem a v porovnání dětí a dospělých (De Ste Croix et al., 2009; Dipla et al., 2009).

Změny RLS v průběhu soutěžního mikrocyklu

Snížení RLS po zátěžovém protokolu hraje klíčovou roli ve zhoršené dynamické stabilitě kolenního kloubu. Naše studie ukázala statisticky nevýznamné snížení hodnot RLS o $0,38 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$ u skupiny U13 a překvapivé zvýšení o $0,769 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$ u skupiny U15 po utkání. Při porovnání individuálních výsledků RLS mezi prvním a druhým měřením mladší skupiny U13 vidíme pokles ($n = 7$) a nárůst ($n = 6$) a u skupiny U15 pokles ($n = 4$), nárůst ($n = 6$) a žádnou změnu ($n = 1$). Tyto individuální rozdíly hodnot potvrzuje více studií. Při porovnání RSI u dospělých a dětí, vidíme velmi různé výsledky, kdy některé z nich ukazují nárůst, jiné pokles nebo stagnaci hodnot RLS po zátěži (Oliver & Smith, 2010).

Vysoce individuální výsledky u dospívajících zaznamenali v recentní studii De Ste Croix et al. (2016). Porovnávali RLS u 36 dívek fotbalistek ve věkové skupině U13 ($n=14$), U15 ($n=9$) a U17 ($n=13$) po specifickém zátěžovém protokolu SAFT⁹⁰. Výsledky ukázaly ve skupině U13 poměrově větší snížení RLS ($n=10$) a mírné zvýšení ($n=4$). U početně menší skupiny U15 se hodnoty snížily u relativní většiny ($n=5$) a zvýšily ($n=4$).

Velmi podobné výsledky ukazuje studie, která sledovala hodnoty RLS skupiny 15letých fotbalistů před a po fotbalu podobné intermitentní zátěži (SSIET). Studie byla limitovaná malým počtem probandů, kdy u poloviny (n=5) došlo ke zvýšení a u druhé ke snížení hodnot RLS po zátěži. V případě této studie mohlo mít na obdobně malé snížení hodnot RLS vliv krátké trvání zátěžového protokolu, který se rovnal pouze polovině běžného fotbalového utkání a i fakt, že specifická aktivita probíhala na běžeckém pásu bez pohonu. Zátěž trvala 3x14 minut a skládala se ze dvouminutových cyklů, kde se střídala chůze a běh o různé intenzitě (Oliver et al., 2014). Změny RLS v této studii byly silně vázané na rozdíly v aktivitě feed-forward a krátkodobé napínací reflexy extenzorové skupiny na změny těžiště. Snížení odpovědi napínacího reflexu může být způsobeno sníženou facilitací svalových vřetének nebo presynaptickou inhibicí (Avela & Komi, 1998). Naopak zvýšení RLS po zátěži poukazuje na zvýšení aktivity neuromuskulárního systému.

De Ste Croix (2012) ve studii, která jako první zkoumala vliv únavy na změny v RLS u dospívajících dívek uvádí, že u skupiny U13 došlo k mírnému poklesu RLS, zatímco u starší skupiny U15 zůstaly hodnoty relativně stejné. Tyto data potvrzují hypotézu, že specifická fotbalová zátěž vyvolá inhibiční odpověď při snížení hodnot RLS u skupiny mladších a žádnou nebo mírnou excitační odpověď u starší skupiny při zvýšení hodnot RLS (De Ste Croix, 2012; De Ste Croix et al., 2016). Naše výsledky toto tvrzení nemohou plně potvrdit z důvodu individuálních rozdílů v rámci skupin. U jednotlivců jsou výrazné neuromuskulární rozdíly mezi věkem a zráním, které poukazují na unikátní mechanismy spojené s různými stádii vývoje v přítomnosti únavy. Ty se mohou projevit v různé úrovni zdatnosti nebo schopnosti regenerace (De Ste Croix et al., 2016). Co vede ke změnám neurální odpovědi není přesně známo, ale jednou možnou hypotézou je, že starší věková skupina využívá zvýšenou pre-aktivaci svalových skupin, kterou kompenzuje sníženou schopnost využití neuromuskulární feedback kontroly po zátěži (Oliver & Smith, 2010).

Naopak Lehnert et al. (n. d.) bez velkých individuálních rozdílů ve skupině zjistil statisticky významné snížení ($p < 0,05$) hodnot RLS po

zátěžovém protokolu SAFT⁹⁰. Podobné výsledky ukázala i nedávná studie Lehnerta et al. (2016), která testovala 18 mladých fotbalistů ve věku 14 let. Výsledky ukazují statisticky významné snížení ($p < 0,001$) hodnot RLS po zátěžovém protokolu SAFT⁹⁰.

Snížení hodnot RLS u skupiny U13 poukazuje na únavou vyvolané změny aktivace svalově-šlachového komplexu. Mezi typické změny patří zhoršení neuromuskulární kontroly ve smyslu snížení svalové preaktivace, tedy feed-forward kontroly, a zvýšení svalové kokontrakce po kontaktu s podložkou jako feedback kontroly, které jsou důležitým ukazatelem dynamické stability kolenního kloubu. Této strategie využívá právě více mládež než dospělí (Croce, Russell, Swartz, & Decoster, 2004). Spolu se změnou neurální kontroly s nižším podílem preaktivace a krátkodobými napínacími reflexy dochází k prodloužení doby kontaktu s podložkou a kratší době letu (Hughes & Watkins, 2006; De Ste Croix, 2012; Oliver et al., 2014). Snížená feed forward i feedback kontrola v rámci neuromuskulární stability u skupiny U13 může sloužit jako protektivní mechanismus před výrazným a rychlým přetížením jejich relativně nezralého muskuloskeletárního systému při kontaktu s podložkou (Horita, Komi, Nicol, & Kyrolainen, 1996). Výše uvedené faktory mohou vést k většímu vychylování těžiště v průběhu kontaktu dolní končetiny s podložkou a následně k relativnímu zvýšení rizika zranění především při doskoku nebo změnách směru (De Ste Croix, 2012). Změny v RLS také pravděpodobně odráží změny snížené svalové aktivity hamstringů u dospívajících po únavovém protokolu (Oliver, Armstrong, & Williams, 2008). Potencionálními následky snížení daných parametrů v přítomnosti únavy je zvýšená absorpce smykové síly kolenním kloubem, která může vést ke zvýšenému riziku poranění ACL (Lehnert et al., 2016).

Zvýšení nebo udržení hodnot relativní RLS po zátěži může poukazovat na udržení dostatečně velké svalové síly a zlepšení feed-forward mechanismů v přítomnosti únavy. Můžeme tak tedy říct, že u hráčů skupiny U15 nedošlo k výrazné periferní nebo centrální únavě v závislosti na zátěži v průběhu utkání a byli tak schopni udržet dostatečnou neurální kontrolu pro aktivaci motorických jednotek.

Některé studie poznamenali, že únavový protokol nemusel znamenat dostatečnou zátěž, která by prokázala vliv únavy na sledované parametry. Únavový protokol, nebo přímo soutěžní utkání v našem případě, mohl potencionálně změnit mechaniku dolních končetin ve smyslu aktivace svalových skupiny zvýšeným nábořem motorických jednotek, zvýšeným podrážděním nebo aktivací synergistů a následně tak vedl ke zlepšení kvality odrazu po fotbalovém utkání (De Ste Croix et al., 2016). Další hypotéza, která potvrzuje zvýšení hodnot RLS, byla potvrzena pouze u dívek. V přítomnosti únavy dochází ke změně strategie řízení ve prospěch kotníkové strategie s cílem udržet LS (Padua et al., 2006).

Subjektivní vnímání zátěže a únavy po utkání bylo vysoce individuální. Pro některé jedince byla zátěž evidentně nedostatečná, čemuž odpovídá i vyhodnocení Borgovy škály. Hodnoty u skupiny U13 v den utkání byly v průměru od ostatních dnů pouze o 0,67 vyšší. V porovnání se dnem následujícím byly hodnoty průměrně vyšší pouze o 0,10. Tomu odpovídá i vyhodnocení VAS škály, která byla použita pro zaznamenání nástupu svalové bolesti. Při porovnání VAS škály před a po utkání skupiny U13 se jednalo o průměrnou změnu o 1,65, kdy 4 jedinci udali nulovou hodnotu, jako žádnou bolest. U skupiny U15 byla hodnota Borgovy škály v den utkání v průměru od ostatních dnů o 2,11 vyšší a v porovnání se dnem následujícím průměrně o 2,16 vyšší. Hodnota VAS byla po utkání u U15 výrazně vyšší než ostatní dny a při porovnání skupin byl u U15 výrazně vyšší rozdíl před a po utkání. Průměrnou změnu 4,4 jsme zjistili z hodnot zaznamenaných hráči v hodnocení před a po utkání. Celkově vyšší hodnoty VAS škály mohou být suspektně ovlivněny větší intenzitou, rychlostí a celkovým nasazením do utkání nebo tréninku, které je typické pro starší kategorii. Vyšší rychlost u U15 je mj. pravděpodobně způsobena zvýšenou feed-forward aktivitou díky aktivaci proprioceptivních mechanismů. Ty se vyvíjí v průběhu dospívání a mohou vysvětlit právě tyto rozdíly přizpůsobení se výkonu v závislosti na věku (Horita et al., 1996).

K výraznému, i když statisticky nevýznamnému, snížení hodnot RLS v této studii došlo velmi překvapivě u skupiny U13 až při třetím měření, které se konalo 48 hodin po utkání. Hodnoty se od prvního měření lišily

o 3,585 kN.m⁻¹. Individuální výsledky zde daleko více korespondují s výsledky celé skupiny, kdy mezi prvním a třetím měřením došlo ke snížení hodnot RLS u většiny (n=12) a ke zvýšení pouze u malého počtu (n=2). Tento stav lze velmi těžko vysvětlit, protože dle záznamu tréninkového zatížení, které nám poskytl trenér, měli hráči U13 den po utkání volno a tedy třetímu měření nepředcházela žádná příliš vysoká aktivita, která by mohla tento stav způsobit. Tyto hodnoty nekorelují ani s průměrnými výsledky Borgovy škály, které ukazují druhou nejnižší hodnotu z celého týdne. Následně v průběhu čtvrtého a pátého měření hodnoty RLS postupně rostly, ale stejně nedosáhly původních hodnot naměřených na začátku týdne před utkáním.

U skupiny U15 byl v průběhu třetího až pátého měření trend mírného poklesu RLS. Tato tendence snižování může obdobně, jako změny RSI, poukazovat na nedostatečnou regeneraci, která je ve shodě se záznamem tréninkového zatížení. Skupina U15 absolvovala po utkání ve všech dnech mikrocyklu tréninkové jednotky v trvání minimálně 75 minut.

Na konci mikrocyklu v pátém měření, tedy před dalším utkáním, ani jedna skupina nedosáhla původních hodnot z prvního měření. Tento fakt poukazuje na možné riziko zranění v důsledku zbytkové únavy. Dle výše uvedených studií, které potvrdily snížení RLS po zátěži, tedy v přítomnosti únavy, můžeme s přihlédnutím na naše změny parametrů na konci mikrocyklu suspektně říci, že v průběhu sezóny může nedostatečnou regenerací docházet k postupné kumulaci únavy, která zvyšuje riziko zranění kolenního kloubu.

Vyjádření k výzkumným otázkám

VO1: Výsledky této studie potvrzují vliv věku na hodnoty sledovaných parametrů ve prospěch skupiny U15. Skupina U15 měla vyšší úroveň sledovaných indikátorů, tedy RSI a RLS, jak při vstupním, tak i při dalších měřeních v průběhu tréninkového mikrocyklu v porovnání s mladší skupinou U13, i když staticky významný rozdíl byl zjištěn pouze pro RSI. Vyšší hodnoty ukazují na zlepšování neuromuskulárních kontroly s věkem a tím zvýšené schopnosti chránit KOK. V průběhu sledovaného soutěžního mikrocyklu se u obou skupin

úroveň sledovaných indikátorů asociovaných s rizikem zranění KOK významně měnila, což může ukazovat na zvýšené riziko zranění zejména při pohybech jako dopady po výskocích, změny směru, pohyby stranou v některých fázích mikrocyklu.

VO2: Pokles hodnot RSI i RLS u skupiny U13 po utkání potvrzuje vliv únavy na parametry sledovaných ukazatelů. V průběhu mikrocyklu, resp. před soutěžním utkáním, jsme u hráčů kategorie U13 pozorovali statisticky významný nárůst hodnot RSI mezi druhým a pátým, a čtvrtým a pátým měřením, zatímco hodnoty RLS byly zhoršeny. Změny byly ale velmi individuální. Můžeme tedy říci, že na nedostatečné zotavení na před následujícím utkáním můžeme usuzovat pouze z hodnot RLS.

VO3: U skupiny U15 byl pokles hodnot RSI po utkání statisticky významný. Změna hodnot RLS po utkání byla překvapivě pozitivní. Na konci mikrocyklu ukázala skupina U15 zhoršení parametrů obou sledovaných ukazatelů dynamické stability KOK v důsledku změn úrovně neuromuskulárních funkcí v průběhu soutěžního mikrocyklu a tím i rizika zranění.

VO4: Při porovnání změn RLS kategorií U13 a U15 po utkání vidíme podobný pokles hodnot. Zatímco hodnoty RSI u skupiny U13 také klesly, u U15 došlo k nárůstu hodnot, které mohou být vysvětleny udržením nebo potenciací svalové síly a zlepšením feed-forward mechanismů v přítomnosti únavy. V průběhu soutěžního mikrocyklu, resp. před soutěžním utkáním jsme u hráčů kategorie U13 pozorovali statisticky významný nárůst hodnot RSI a pokles u U15. Hodnoty RLS byly obdobně zhoršeny u obou skupin.

7 ZÁVĚRY

Výsledky této studie potvrzují vliv věku na kvalitu neuromuskulárního řízení KOK. Skupina U15 měla vyšší úroveň sledovaných indikátorů, tedy RSI a RLS, jak při vstupním, tak i při dalších měřeních v průběhu tréninkového mikrocyklu v porovnání s mladší skupinou U13. Ačkoliv staticky významný rozdíl byl zjištěn pouze v případě RSI, vyšší hodnoty ukazují na zlepšování neuromuskulární kontroly s věkem a tím zvýšené schopnosti chránit KOK.

Fotbalové utkání mělo vliv na pokles hodnot RSI u obou kategorií, avšak statisticky významný rozdíl mezi měřeními před a po utkání byl zjištěn pouze u skupiny U15. Hodnoty RLS po utkání klesly u skupiny U13, zatímco u U15 došlo k nárůstu. Výsledky po utkání neukazují jednoznačné snížení hodnot, které by mohlo mít vlivem únavy dopad na snížení neuromuskulární kontroly a tedy i zvýšené riziko zranění. Na konci soutěžního mikrocyklu lze usuzovat na nedostatečné zotavení před následujícím utkáním u skupiny U13 pouze ze snížených hodnot RLS, zatímco u skupiny U15 došlo k významnému zhoršení obou sledovaných ukazatelů, které mohou mít vliv na dynamickou stabilitu KOK a tím i riziko zranění. Orientační individuální analýza však potvrdila, že změny RLS byly vysoce individuální.

Na základě našich zjištění, včetně pozitivního efektu dne volna u mladší kategorie U13 po utkání, doporučujeme následující den po utkání uplatňovat nižší tréninkové zatížení a vyvarovat se vysoce intenzivních rizikových pohybů (dopad po výskoku, rychlá změna směru, pohyb do stran), při kterých dochází k zvýšenému zatížení pasivních stabilizátorů KOK, resp. ACL.

8 SOUHRN

Cílem práce bylo stanovit změny neuromuskulárního řízení v oblasti kolenního kloubu v průběhu soutěžního mikrocyklu a posoudit s tím spojené riziko zranění v důsledku únavy.

Teoretická část diplomové práce přináší syntézu poznatků o zranění ve fotbalu, kdy nejčastěji bývá poraněný kolenní kloub, který je dále popsán ve své anatomii a kineziologii. Uvedeny jsou poznatky z oblasti neuromuskulární kontroly stability kolenního kloubu a jejích rizikových faktorů, mezi které patří i únava. Dále jsou v této kapitole popsány sledované parametry (RLS a RSI), které jsou považovány za indikátory neuromuskulární kontroly.

Výzkumná část diplomové práce zahrnuje popis použité metodiky. Sledovaný soubor byl tvořen dvěma skupinami hráčů fotbalu SK Sigma Olomouc (U13: $n = 15$, průměrný věk $13,6 \pm 0,3$; U15: $n = 11$, průměrný věk $15,7 \pm 0,3$). Testování bylo realizováno pětikrát v průběhu soutěžního mikrocyklu podzimní části soutěžního období. Testování proběhlo před utkáním, ihned po utkání, 48 hodin po utkání, 96 hodin po utkání a následně před dalším utkáním. RLS, která byla standardizována délkou dolní končetiny a tělesnou hmotností (McMahon & Cheng, 1990), jsme měřili z testu 20 opakovaných submaximálních vertikálních skoků odrazem obounož na dynamografickém platu PS-2142 (Pasco, Roseville, USA) s frekvencí skoků byla 2,5 Hz. Naměřené údaje byly zpracovány pomocí softwaru Jump Analyzer (Lloyd et al., 2012). RSI byl odvozen z údajů naměřených v testu 5 maximálních vertikálních skoků. Měření bylo provedeno na výskokovém ergometru FITRO Jumperu (Fitronic, Slovensko).

Výsledky Friedmanovy ANOVY, resp. Bonferroniho post-hoc testu potvrzují vliv věku na kvalitu neuromuskulárního řízení KOK. Ačkoliv staticky významný ($p < 0,001$; $F = 8,308$) rozdíl byl zjištěn pouze v případě RSI, vyšší úroveň sledovaných indikátorů u skupiny U15 jak při vstupním, tak i při dalších měřeních v průběhu tréninkového mikrocyklu ukazuje na zlepšování neuromuskulární kontroly s věkem a tím

zvýšené schopnosti chránit KOK. Fotbalové utkání mělo vliv na pokles hodnot RSI u obou kategorií, avšak statisticky významný rozdíl mezi měřeními před a po utkání byl zjištěn pouze u skupiny U15. Hodnoty RLS po utkání klesly u skupiny U13, zatímco u U15 došlo k nárůstu. Výsledky po utkání neukazují jednoznačné snížení hodnot, které by mohlo mít vlivem únavy dopad na snížení neuromuskulární kontroly. Na konci soutěžního mikrocyklu lze usuzovat na nedostatečné zotavení před následujícími utkáními u skupiny U13 pouze ze snížených hodnot RLS, zatímco u skupiny U15 došlo k významnému zhoršení obou sledovaných ukazatelů, které mohou mít vliv na dynamickou stabilitu KOK a tím i riziko zranění. Orientační individuální analýza však potvrdila, že změny RLS byly vysoce individuální.

9 SUMMARY

The aim of this diploma thesis was to determine changes in neuromuscular control of the knee during a competition microcycle and assess the associated risk of injury due to fatigue.

The theoretical part of the diploma thesis provides a synthesis of the knowledge about football injuries. The most common injured joint of lower extremity is the knee, which is described in its anatomy and kinesiology. The findings from the area of neuromuscular control of knee joint stability and its risk factors, including fatigue, are presented. The parameters (RLS and RSI), which are considered as neuromuscular control indicators, are described in this chapter.

The research part of the diploma thesis describes the used methodology. The target group was composed of 26 football players from SK Sigma Olomouc (U13: $n = 15$, mean age $13,6 \pm 0,3$, U15: $n = 11$, mean age $15,7 \pm 0,3$). Testing was performed five times during the competitive microcycle of the autumn part of the competition period. Testing took place before the match, immediately after the match, 48 hours after the match, 96 hours after the match and then before the next match. RLS, which was standardized by leg length and body weight (McMahon & Cheng, 1990), was measured by having each participant complete 20 repetitive submaximal vertical jumps on the PS-2142 force platform (Pasco, Roseville, USA) with a jump rate of 2.5 Hz. The measured data was processed using the Jump Analyzer software (Lloyd et al., 2012). The RSI was derived from the data measured in the 5 maximum vertical jumps test. The measurements were made on FITRO Jumper (Fitronic, Slovakia).

The results of Friedman's ANOVA, respectively Bonferroni's post-hoc test confirms the effect of age on the quality of neuromuscular knee joint control. Although a statistically significant ($p < 0.001$; $F = 8.308$) difference was found only for RSI, there was a higher level of the observed indicators in the U15 group, both in the input and in the other measurements, during the training microcycle. These results show

improvement in neuromuscular control with age and hence increased ability to protect the knee joint. The soccer match had an impact on the decrease in the RSI in both age groups, but the statistically significant difference between pre and post match measurements was found only for the U15 group. The RLS after the match decreased in group U13, while increased in group U15. The results after the match do not show a clear reduction in values that could have an impact on reducing neuromuscular control in a state of fatigue and hence an increased risk of injury. At the end of the competition microcycle, the reduction of RLS in the U13 group points out insufficient recovery before the next match. For the U15 group there was significant deterioration of both monitored indicators which could affect the dynamic stability of the knee joint and thus increase the risk of injury. However tentative individual analysis confirmed, that RLS changes were highly individual.

10 REFERENČNÍ SEZNAM

- 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
- Arampatzis, A., Bruggemann, G. P., & Metzler, V. (1999). The effect of speed on leg stiffness and joint kinetics in human running. *Journal of Biomechanics*, *32*(12), 1349-1353.
- Avela, J., & Komi, P. V. (1998). Reduced stretch reflex sensitivity and muscle stiffness after long-lasting stretch-shortening cycle exercise in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *78*(5), 403-410.
- Badin, O. O., Smith, M. R., Conte, D., & Coutts, A. J. (2016). Mental Fatigue: Impairment of Technical Performance in Small-Sided Soccer Games. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *11*(8), 1100-1105.
- Brophy, R. H., Schmitz, L., Wright, R. W., Dunn, W. R., Parker, R. D., Andrish, J. T., McCarty, E. C., & Spindler, K. P. (2012). Return to play and future ACL risk injury after ACL reconstruction in soccer athletes from the Multicenter Orthopaedic Outcomes Network group. *The American Journal of Sports Medicine*, *40*(11), 2517-2522.
- Carling, C., Bloomfield, J., Neen, L., & Reilly, T. (2008). The role of motion analysis in elite soccer: contemporary performance measurement techniques and work rate data. *Sports Medicine*, *38*(10), 839-862.
- Croce, R. V., Russell, P. J., Swartz, E. E., & Decoster, L. C. (2004). Knee muscular response strategies differ by developmental level but not gender during jump landing. *Electromyography and clinical neurophysiology*, *44*(6), 339-348.
- Čihák, R. (2011). *Anatomie I*. Praha: Grada Publishing.

- Dalleau, G., Belli, A., Viale, F., Lacour, J. R., & Bourdin, M. (2004). A Simple Method for Field Measurements of Leg Stiffness in Hopping. *International Journal of Sports Medicine*, 25(3), 170-176.
- 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., Hughes, J., Lloyd, R. S., Oliver, J. L., & Read, P. (2016). Leg Stiffness in Female Soccer Players: Intersession Reliability and the Fatiguing Effects of Soccer-Specific Exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 00 (00), 1-7.
- De Ste Croix, M. B. (2012). *Protect her knees - Exploring the role of football specific fatigue on dynamic knee stability in female youth football players*. University of Gloucestershire.
- De Ste Croix, M. B., & Korff, T. (2012). *Paediatric biomechanics and motor control: Theory and application*. Routledge.
- De Ste Croix, M. B., Priestly, A. M., Lloyd, R. S., & Oliver, J. L. (2015). ACL injury risk in elite female youth soccer: Changes in neuromuscular control of the knee following soccer-specific fatigue. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 25(5), 531-538.
- Dipla, K., Tsirini, T., Zafeiridis, A., Manou, V., Dalamitros, A., Kellis, E., & Kellis, S. (2009). Fatigue resistance during high-intensity intermittent exercise from childhood to adulthood in males and females. *European Journal of Applied Physiology*, 106(5), 645-653.
- Dutto, D. J., & Smith, G. A. (2002). Changes in spring-mass characteristics during treadmill running to exhaustion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(8), 1324-1331.
- Dylevský, I. (2009a). *Funkční anatomie*. Praha: Grada Publishing.
- Dylevský, I. (2009b). *Speciální kineziologie*. Praha: Grada Publishing a.s.
- Ekstrand, J., Hagglund, M., & Waldén, M. (2009). Injury incidence and injury patterns in professional football: the UEFA injury study. *British Journal of Sports Medicine*, 45(7), 553-558.

- Flanagan, E. P., & Comyns, T. M. (2008). The Use of Contact Time and the Reactive Strength Index to Optimize Fast Stretch-Shortening Cycle Training. *Strength and Conditioning Journal*, 30(5), 32-38.
- Gandevia, S. C. (2001). Spinal and Supraspinal Factors in Human Muscle Fatigue. *Physiological Reviews*, 81(4), 1725-1789.
- Grosset, J. F., Mora, I., Lambertz, D., & Perot, C. (2007). Changes in stretch-reflexes and muscle stiffness with age in prepubescent children. *Journal of Applied Physiology*, 102(6), 2352-2360.
- Hawkins, R. D., & Fuller C. W. (1999). A prospective epidemiological study of injuries in four English professional football clubs. *International Journal of Sports Medicine*, 33(3), 196-203.
- Hewett, T. E., Lindenfeld, T. N., Riccobene, J. V., & Noyes, F. R. (1999). The Effect of Neuromuscular Training on the Incidence of Knee Injury in Female Athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 27(6), 699-706.
- Hobara, H., Kanosue, K., & Suzuki, S. (2007). Changes in muscle activity with increase in leg stiffness during hopping. *Neuroscience Letters*, 418(1), 55-59.
- Horita, T., Komi, P. V., Nicol, C., & Kyrolainen, H. (1996). Stretch-shortening cycle fatigue: interactions among joint stiffness, reflex and muscle mechanical performance in the drop jump. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 73(5), 393-403.
- Hughes, G., & Watkins, J. (2006). A Risk-Factor Model for Anterior Cruciate Ligament Injury. *International Journal of Sports Medicine*, 36(5), 411-428.
- Kapandji, I. A. (1987). *The Physiology of the Joints. Volume Two. Lower Limb* (5th ed.). London: Churchill Livingstone.
- Kolář, P. (2009). *Rehabilitace v klinické praxi*. Praha: Galén.
- Lehnert, M., De Ste Croix, M., Xaverová, Z., Botek, M., Vařeková, R., Zaatar, A., & Laštovička, O. (n. d.). *Changes in injury risk mechanisms after soccer-specific fatigue in male youth soccer players*.
- Lehnert, M., De Ste Croix, M. B., Zaatar, A., Hughes, J., Vařeková, R., & Laštovička, O. (2016). Muscular and neuromuscular control following soccer-specific exercise in male youth: Changes in injury

- risk mechanisms. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. I., 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 and Conditioning Research*, 25(7),1889-1897.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & Williams, C. A. (2012). Age-related differences in the neural regulation of stretch- shortening cycle activities in male youths during maximal and sub-maximal hopping. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(1), 37-43.
- Máček, M., & Radvanský, J. (2011). *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Galén.
- McMahon, T. A., & Cheng, G. C. (1990). The mechanics of running: how does stiffness couple with speed? *Journal of Biomechanics*, 23(1), 65-68.
- Mohr, M., Krstrup, P. & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Science*, 21(7), 519-528.
- Noakes, T. D. (2012). Fatigue is a brain-derived emotion that regulates the exercise behavior to ensure the protection of whole body homeostasis. *Frontiers in Psychology*, 3:82, 1-13.
- Oliver, J. L., De Ste Croix, M., Lloyd, R. S., & Williams, C. A. (2014). Altered neuromuscular control of leg stiffness following soccer-specific fatigue exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 114(11), 2241-2249.
- Oliver, J., Armstrong, N., & Williams, C. (2008). Changes in jump performance and muscle activity following soccer-specific exercise. *Journal of Sports Sciences*, 26(2), 141-148.
- Oliver, J. L., & Smith, P. M. (2010). Neural control of leg stiffness during hopping in boys and men. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(5), 973-979.
- Padua, D. A., Arnold, B. L., Perrin, D. H., Gansneder, B. M., Garcia, C. R., & Granata, K. P. (2006). Fatigue, vertical leg stiffness and

- stiffness control strategies in males and females. *Journal of Athletic Training*, 41(3), 294-304.
- Pageaux, B., Marcora, S. M., & Lepers, R. (2013). Prolonged Mental Exertion Does Not Alter Neuromuscular Function of the Knee Extensors. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(12), 2254-2264.
- Parkkari, J., Pasanen, K., Mattila, V. M., Kannus, P., & Rimpela, A. (2008). The risk for a cruciate ligament injury of the knee in adolescents and young adults: a population based cohort study of 46500 people with a 9 year follow-up. *International Journal of Sports Medicine*, 42, 422-426.
- Patikas, D., Kansizoglou, A., Koutlianos, N., Williams, C. A., Hatzikotoulas, K., Bassa, E., & Kotzamanidis, Ch. (2013). Fatigue and recovery in children and adults during sustained contractions at 2 different submaximal intensities. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 38(9), 953-959.
- Pfirrmann, D., Herbst, M., Ingelfinger, P., Perikles, S., & Suzan, T. (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.
- Rachner, C., Platzer, H. P., Patterson, C., Werner, I., Huber, R., & Hildebrandt, C. (2012). The relationship between ACL injuries and physical fitness in young competitive ski racers: a 10-year longitudinal study. *International Journal of Sports Medicine*, 46(15), 1065-1071.
- Rampinini, E., Bosio, A., Ferraresi, I., Petruolo, A., Morelli, A., & Sassi, A. (2011). Match-Related Fatigue in Soccer Players. *Medicine and Science in Sports and exercise*, 43(11), 2161-2170.
- Rampinini, E., Coutts, A. J., Castagna, C., Sassi, R., & Impellizzeri, F. M. (2007). Variation in top level soccer match performance. *International Journal of Sports Medicine*, 28(12), 1018-1024.
- Rampinini, E., Impellizzeri, F. M., Castagna, C., Azzalin, A., Bravo, D. F., & Wisløff, U. (2008). Effect of Match-Related Fatigue on Short-

- Passing Ability in Young Soccer Players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(5), 934-942.
- Ratel, S., Duché, P., & Williams, C. A. (2006). Muscle Fatigue during High-Intensity Exercise in Children. *International Journal of Sports Medicine*, 36(12), 1031-1065.
- Read, P., Oliver, J. L., De Ste Croix, M., Myer, G. D., & Lloyd, R. S. (2015). Injury Risk Factors in Male Youth Soccer Players. *Strength and Conditioning Journal*, 37(5), 1-7.
- Riemann, B. L., & Lephart, S. M. (2002a). The Sensorimotor System, Part I: The Physiologic Basis of Functional Joint Stability. *Journal of Athletic Training*, 37(1), 71–79.
- Riemann, B. L., & Lephart, S. M. (2002b). The Sensorimotor System, Part II: The Role of Proprioception in Motor Control and Functional Joint Stability. *Journal of Athletic Training*, 37(1), 80–84.
- Rumpf, M. C., & Cronin, J. (2012). Injury incidence, body site and severity in soccer players aged 6-18 years: Implications for injury prevention. *Strength and Conditioning Journal*, 34(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 Sport and Exercise*, 39(1), 159-170.
- Senter, C., & Hame, S. L. (2006). Biomechanical Analysis of Tibial Torque and Knee Flexion Angle, Implications for Understanding Knee Injury. *International Journal of Sports Medicine*, 36(8), 635-641.
- Shaffer, S. W., & Harrison, A. L. (2007). Aging of somatosensory system: A translational perspective. *Physical Therapy*, 87(2), 193-207.
- 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.
- Smékal, D., & Mayer, M. (n. d.). Neuromuskulární kontrola a rehabilitace u lézí předního zkříženého vazů. Retrieved 12.1. 2017 from the World Wide Web: <http://www.ftk.upol.cz/dokumenty/kfa/rehabilitace.doc>.

- Trojan, S., Druga, R., Pfeiffer, J., & Votava, J. (2005). *Fyziologie a léčebná rehabilitace motoriky člověka*. Praha: Grada Publishing.
- Trojan, S., Langmeier, M., Hrachovina, V., Kittnar, O., Koudelková, J., Kuthan, V., Mareš, J., & Marešová, D. (2003). *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada Publishing.
- Wetters, N., Weber, A. E., Wuerz, T. H., Schub, D. L., & Mandelbaum, B. R. (2016). Mechanism of Injury and Risk Factors for Anterior Cruciate Ligament Injury. *Operative Techniques in Sports Medicine*, 24(1), 2-6.
- Wikstrom, E. A., Powers, M. E., & Tillman, M. D. (2004). Dynamic Stabilization Time After Isokinetic and Functional Fatigue. *Journal of Athletic Training*, 39(3), 247-253.
- 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. *International Journal of Sports Medicine*, 36(5), 393-410.
- Wilmore, J. H., Costill, D. L., & Kenney, W. L. (2008). *Physiology of Sport and Exercise*. Human Kinetics.
- Yanagawa, T., Shelburne, K., Serpas, F., & Pandy, M. (2002). Effect of hamstring muscle action on stability of the ACL-deficient knee in isokinetic extension exercise. *Clinical Biomechanics*, 17(9-10), 705-712.

11 PŘÍLOHY

Příloha 1. Informovaný souhlas pro nezletilé účastníky studie

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUČ, FAKULTA TĚLESNÉ KULTURY

Informovaný souhlas pro nezletilé účastníky studie

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

Jméno:

Datum narození:

Účastník byl do studie zařazen pod číslem:

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

Pokračování Přílohy 1.

5. Porozuměl jsem tomu, že jméno mého syna/dcery se nebude nikdy vyskytovat v referátech o této studii. Já naopak nebudu proti použití výsledků z této studie.

Podpis zákonného zástupce:

Datum:

Podpis řešitele pověřeného touto studií:

Datum:

Pokračování Přílohy 1.

Informovaný souhlas s poskytnutím vzorku DNA

č. obj.*

testovaná osoba - VZOREK

Jméno a příjmení: _____ Datum narození: _____

Datum odběru:

Rasa (zakroužkujte): běloch černoch hispánec asiatická jiná (prosím popište)

(obvykle dle barvy kůže – bílá, černá, hnědá, žlutá – slouží ke zpřesnění statistiky pravděpodobnosti možného výskytu obdobné DNA v běžné populaci stejného typu)

Svěděk (JE-LI PŘÍTOMEN ODBĚRU)

“Prohlašuji, že vzorky odebrané pro tento DNA test byly odebrány dle přiloženého návodu a správně označeny výše uvedenými údaji. Jsem srozuměn s tím, že nesprávné označení vzorků může vést k nespolehlivým výsledkům DNA testu. Prohlašuji, že nemám žádný zájem na nespolehlivosti tohoto testu či jeho zneužití pro jiné než výzkumné účely.”

Jméno a příjmení: _____

Podpis:

Testovaná osoba/zákonný zástupce

Tímto uděluji svůj výslovný SOUHLAS se zpracováním mých osobních a genetických údajů, které jsem dobrovolně poskytl pro potřeby vědeckého záměru FTK UP se sídlem Třída Míru 117, Olomouc, 771 11. Byl jsem informován o významu vědeckého záměru, jehož se účastním. Souhlasím s anonymním prezentováním výsledků v rámci vědeckých prezentací a materiálů FTK UP, bez porušení práv třetích osob. Souhlas uděluji ve výše uvedeném rozsahu na dobu nezbytnou pro realizaci projektu.

Testovaná osoba

Jméno a příjmení: _____

Podpis a datum _____

Zákonný zástupce

Jméno a příjmení: _____ Datum narození: _____

Podpis a datum _____

Upozornění: Odebrané vzorky budou sloužit výlučně k výzkumným účelům a ve výsledném hodnocení nebudou vztahovány k jednotlivým osobám. Analýza vzorků proběhne ve spolupráci s Ústavem molekulární a translační medicíny Lékařské fakulty UP v Olomouci, kde bude také zajištěna anonymizovaná archivace DNA po dobu řešení projektu.

Příloha 2. Vyjádření Etické komise FTK UP



**Fakulta tělesné kultury
Univerzity Palackého
tř. Míru 115
OLOMOUC**

Vyjádření Etické komise FTK UP

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

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

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

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

schválen Etickou komisí FTK UP pod jednacím číslem: 14 / 2015
dne: 19. 3. 2015.

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

Řešitelé projektu splnili podmínky nutné k získání souhlasu etické komise.

razítko fakulty

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

Příloha 3. Tréninkové zatížení

Dotazník k pohybové aktivitě

(FTK UP Olomouc; GAČR 2016-2018)

Účelem tohoto dotazníku je odhadnout množství Tvé pohybové aktivity. Formulář obsahuje tabulky pro každý den týdne. Následující obrázek znázorňuje postup při vyplňování.

Pokud jsi během této části dne měl více než jednu aktivitu, napiš ji na další řádek.

Vepiš pohybové aktivity prováděné v uvedených částech dne.

Pondělí	Aktivita	Mírně intenzivní	Intenzivní	Velmi intenzivní
Před vyučováním				
Během vyučování	TV: basketbal		60 minut	
Během polední přestávky	Badminton	30 minut		
Po vyučování	Fotbal		90 minut	
	Hokej		60 minut	

Vepiš dobu trvání aktivity (v minutách, zaokrouhlenou na desítky minut) do sloupce, který nejlépe vystihuje její intenzitu. Uveď pouze aktivitu, která trvala nepřetržitě alespoň 10 minut. Příklad: Sportovec v uvedeném případě výše měl po vyučování 90 minut fotbalu s vysokou intenzitou a 60 minut hokeje také s vysokou intenzitou.

Příklady úrovní intenzity pohybové aktivity

Mírně intenzivní

normální dýchání a fyzicky nenáročný pohyb (*chůze; rekreačně volejbal, rekreačně plavání a jízda na kole; náročnější práce na zahradě – rytí, hrabání apod.*)



Intenzivní

zrychlené dýchání a fyzicky středně náročný pohyb

(*rychlejší plavání; rychlejší jízda na kole; rekreačně fotbal; aerobik; tanec; jogging; cvičení ve fitness apod.*)



Velmi intenzivní

velmi rychlé dýchání a fyzicky náročný pohyb

(fyzicky náročná tréninková jednotka nebo její část; utkání;

rychlý běh; rychlá jízda na kole apod.)



Jméno a příjmení:

Věková skupina: 13 let 15 let **Týden:**

Sobota	Aktivita	Mírně intenzivní	Intenzivní	Velmi intenzivní
Dopoledne do 12. hod.				
Odpoledne 12.–16. hod.				
Večer po 16. hod.				

Neděle	Aktivita	Mírně intenzivní	Intenzivní	Velmi intenzivní
Dopoledne do 12. hod.				
Odpoledne 12.–16. hod.				
Večer po 16. hod.				

Pondělí	Aktivita	Mírně intenzivní	Intenzivní	Velmi intenzivní
Před vyučováním				
Během vyučování				
Během polední přestávky				
Po vyučování				

Úterý	Aktivita	Mírně intenzivní	Intenzivní	Velmi intenzivní
Před vyučováním				
Během vyučování				
Během polední přestávky				
Po vyučování				

Středa	Aktivita	Mírně intenzivní	Intenzivní	Velmi intenzivní
Před vyučováním				
Během vyučování				

Během polední přestávky				
Po vyučování				

Čtvrtek	Aktivita	Mírně intenzivní	Intenzivní	Velmi intenzivní
Před vyučováním				
Během vyučování				
Během polední přestávky				
Po vyučování				

Pátek	Aktivita	Mírně intenzivní	Intenzivní	Velmi intenzivní
Před vyučováním				
Během vyučování				
Během polední přestávky				
Po vyučování				

Příloha 4. Borgova škála vnímaného úsilí

Borgova škála vnímaného úsilí
(FTK UP Olomouc; GAČR 2016-2018)

Jméno a příjmení: _____

Na škále uvedené níže vyjádři, jak náročný byl trénink/utkáni.

K vyjádření tvého úsilí při tréninku ti pomůže následující tabulka.

Tabulka vnímaného úsilí

1	VELMI LEHKÁ AKTIVITA Téměř žádná námaha, ale více než spánek – např. sledování TV, čtení.
2–3	LEHKÁ AKTIVITA Máš pocit, že ji můžeš vykonávat hodiny, snadno při ní dýcháš, můžeš plynule mluvit.
4–6	PONĚKUD NAMÁHAVÁ AKTIVITA Máš pocit, že ji můžeš vykonávat po delší dobu, máš prohloubené dýchání, můžeš mluvit jen v krátkých větách.
7-8	NAMÁHAVÁ AKTIVITA Zátěž se stává nepříjemnou, pociťuješ nedostatek dechu, zvládneš vyslovit jen krátkou větu.
9	VELMI NAMÁHAVÁ AKTIVITA Velmi obtížně udržíš intenzitu cvičení, stěží dýcháš, můžeš vyslovit pouhé slovo.
10	MAXIMÁLNĚ NAMÁHAVÁ AKTIVITA Cítíš, že pokračovat ve cvičení je téměř nemožné, nedostává se ti dechu, nejsi schopen mluvit.

Na škále zakroužkuj číslo, které nejlépe odpovídá tebou pociťované intenzitě a vyplň datum a čas tréninku/utkáni:

Datum a čas vyplnění: _____

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Příloha 5. Záznam objemu tréninkového zatížení hráčů fotbalu U13

Skupina: fotbalisti U13	Záznam tréninkového zatížení hráčů fotbalu						
Datum	5.11.	6.11.	7.11.	8.11.	9.11.	10.11.	11.11.
Zatížení	U	V	2T	2T	U	T	T
Celkový čas zatížení (min)	90		180	180	180	90	90
Regenerace (min) *			60	0	0	0	0
Taktická příprava – teorie (min)			0	0	0	0	0
Detailní pohybové zatížení (min)							
<i>1. Rozcvičení</i>	20		20	20	15	10	15
<i>2. Kondiční trénink</i>			40	40	20	40	50
Trénink síly včetně "výbušnosti"			30	30	10	20	30
Trénink rychlosti a agility bez míče			0	20	10	0	10
Trénink rychlosti a agility s míčem			0	10	0	5	5
Trénink RSA bez míče			0	10	0	0	10
Trénink RSA s míčem			5	0	0	5	10
SSG s kondičním zaměřením			5	20	0	10	20
<i>3. Dovednostně orientovaný trénink</i>			30	70	20	30	40
Technicko - taktický trénink			30	15	15	30	15
Herní trénink			0	25	0	0	25

4. Všeobecná pohybová průprava			15	0	0	0	0
5. Aktivní zotavování (pohybem)*			60	0	0	0	0

Vysvětlivky: RSA – schopnost opakovat činnost maximálním úsilím po dobu utkání, SSG – malé herní formy (průpravné hry s menším počtem hráčů nebo na menším prostoru), U – utkání, T – trénink, V – volno,

* Aquapark Olomouc (sauna, pára, whirlpool)

Příloha 6. Záznam objemu tréninkového zatížení hráčů fotbalu U15

Skupina: fotbalisti U15	Záznam tréninkového zatížení hráčů fotbalu							
	Datum	20.11.	21.11.	22.11.	23.11.	24.11	25.11.	26.11.
Zatížení	U	T	T	T	T	T	T	U
Celkový čas zatížení (min)	90	75	75	105	75	90	90	
Regenerace (min) *		60						
Taktická příprava – teorie (min)			60					
Detailní pohybové zatížení (min)								
<i>1. Rozcvičení</i>		15	20	15	15	15		
<i>2. Kondiční trénink</i>			25	35	30	10		
Trénink síly včetně "výbušnosti"			15	15	20			
Trénink rychlosti a agility bez míče				10		10		
Trénink rychlosti a agility s míčem			10	10	10			
SSG s kondičním zaměřením			40		40			
<i>3. Dovednostně orientovaný trénink</i>		20	10				60	
Technicko - taktický trénink							60	
Herní trénink		20	10					
<i>4. Všeobecná pohybová příprava</i>		30						

5. Aktivní zotavování	10	10				10	10
------------------------------	----	----	--	--	--	----	----

Vysvětlivky: SSG – malé herní formy (průpravné hry s menším počtem hráčů nebo na menším prostoru), U – utkání, T – trénink, * Andrův stadion (bazén s vířivkou a saunou)

Příloha 7. Vizuální analogová škála (VAS)

Škála VAS

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

Žádná  Nesnesitelná
bolest bolest

Jméno a příjmení: Datum:

Škála VAS

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

Žádná  Nesnesitelná
bolest bolest

Jméno a příjmení: Datum:

Škála VAS

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

Žádná  Nesnesitelná
bolest bolest

Jméno a příjmení: Datum:

Příloha 8. Základní statistické charakteristiky sledovaných parametrů u celé skupiny sledovaných hráčů (n = 26)

Měření	<i>M</i>	<i>Mdn</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>SD</i>
RSI 1	2, 70	2, 68	1, 77	3, 37	0, 35
RSI 2	2, 49	2, 44	1, 68	3, 16	0, 32
RSI 3	2, 66	2, 60	1, 96	3, 29	0, 33
RSI 4	2, 59	2, 54	1, 88	3, 37	0, 36
RSI 5	2, 72	2, 73	2, 03	3, 53	0, 33
RLS 1	37, 70	38, 39	28, 50	49, 62	6, 43
RLS 2	37, 82	37, 16	27, 86	48, 90	5, 78
RLS 3	34, 63	34, 53	23, 90	45, 32	5, 82
RLS 4	34, 91	34, 34	25, 16	46, 52	5, 24
RLS 5	35, 74	36, 07	24, 61	43, 57	5, 23

Vysvětlivky: *M* – aritmetický průměr; *Mdn* – medián; *Min* – minimální hodnota; *Max* – maximální hodnota; *SD* – směrodatná odchylka; RSI – index reaktivní síly; RLS – relativní tuhost dolní končetiny; 1, 2, 3, 4, 5 – měření