

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury

**HODNOCENÍ SVALOVÉ AKTIVITY FLEXORŮ KOLENNÍHO KLOUBU
POMOCÍ POVRCHOVÉ ELEKTROMYOGRAFIE U FOTBALISTŮ
ŽÁKOVSKÝCH KATEGORIÍ V PRŮBĚHU SEZÓNY**

Diplomová práce

(magisterská)

Autor: Bc. Pavla Skrášková, fyzioterapie

Vedoucí práce: Mgr. Amr Mohamed Zaki Zaatar, Ph.D.

Olomouc 2018

Jméno a příjmení autora: Bc. Pavla Skrášková

Název diplomové práce: Hodnocení svalové aktivity flexorů kolenního kloubu pomocí povrchové elektromyografie u fotbalistů žákovských kategorií v průběhu sezóny

Pracoviště: Katedra fyzioterapie

Vedoucí diplomové práce: Mgr. Amr Mohamed Zaki Zaatar, Ph.D.

Rok obhajoby diplomové práce: 2018

Abstrakt: Kolenní kloub patří mezi nejčastěji poraněný kloub lidského těla. Na základě vysokých nároků kladených na sportovce, jsou právě oni vystaveni vyššímu riziku úrazů v průběhu soutěžního období. Cílem studie je analyzovat svalovou aktivitu vybraných flexorů kolenního kloubu během vertikálního výskoku snožmo v průběhu sezóny. Výzkumný soubor je složen z 18 probandů ve věku 13 let a 17 probandů ve věku 15 let. Všichni zúčastnění jsou mužského pohlaví a aktivními hráči klubu SK Sigma Olomouc. Měření je založeno na snímání svalové aktivity pomocí povrchové elektromyografie ze svalů m. biceps femoris, m. semitendinosus a m. gastrocnemius medialis dominantní dolní končetiny. Výsledky ukázaly nejčastěji rozdíl v parametru mean frekvence mezi koncem sezóny a začátkem následující sezóny u obou věkových kategorií. Při porovnání věkových kategorií byl zaznamenán rozdíl na začátku sezóny. Na základě vyhodnocených parametrů byla zaznamenána únava na konci sezóny u obou věkových skupin a lepší regenerace hráčů U13 na začátku následující sezóny.

Klíčová slova: fotbal, riziko zranění, svalová aktivita, výskok, dynamická stabilizace

Souhlasím s půjčováním diplomové práce v rámci knihovních služeb.

Author's first name and surname: Bc. Pavla Skrášková

Title of the master thesis: Assessment of the knee flexor muscles activity of young football players using surface electromyography during the season

Department: Department of physiotherapy

Supervisor: Mgr. Amr Mohamed Zaki Zaatar, Ph.D.

The year of presentation: 2018

Abstract: The knee joint is one of the most injured joints of the human body. Due to the high demands placed on athletes, they are prone to a higher risk of injuries during the competition period. The aim of the study was to analyze muscle activity of selected knee flexors in the squat jump test during the season. The study is comprised of 18 probands at the age of 13 (U13) and 17 probands at the age of 15 (U15). All participants were male and active players of the SK Sigma Olomouc club. Core of the practical part was the detection of muscle activity of the m. biceps femoris, m. semitendinosus and the m. gastrocnemius medialis of the dominant lower limb. Majority of tested subjects showed difference in the mean frequency parameter between the end of the season and the beginning of the following season for both age categories. When comparing the age categories a difference was found at the beginning of the season. On the basis of the evaluated parameters, end-of-season fatigue was shown in both age groups and better recovery was observed in U13 players at the start of the following season.

Keywords: football, risk of injury, muscle activity, squat jump, dynamic stabilization

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

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně pod vedením
Mgr. Amra Zaatara, Ph.D. uvedla všechny použité literární a odborné zdroje
a dodržovala zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 13.4.2018

.....

Ráda bych poděkovala Mgr. Amru Zaatarovi, PhD. za odborné vedení diplomové práce, za trpělivost, cenné rady a připomínky při jejím zpracování. Diplomová práce vznikla za podpory projektu grantové agentury České republiky č. GA16-13750S s názvem „Kumulativní efekt únavy na neuromuskulární řízení kolene a riziko zranění u mladých sportovců během růstu a zrání“. Dále bych ráda poděkovala RNDr. Milanu Elfmarkovi za statistické zpracování dat.

OBSAH

1	ÚVOD.....	9
2	PŘEHLED POZNATKŮ.....	10
	2.1.1 Stabilizátory kolenního kloubu.....	10
	2.1.1.1 Dynamické stabilizátory.....	10
	Flexorová skupina.....	10
	Extenzorová skupina.....	12
	2.1.1.2 Statické stabilizátory.....	13
	2.1.2 Lombardův paradox.....	14
	2.1.3 Neuromuskulární kontrola stability, senzomotorický systém ...	14
	2.1.3.1 Propriorecepce a kloubní receptory.....	15
2.2	Fotbal a pohybové schopnosti.....	16
	2.2.1 Vytrvalostní schopnosti.....	17
	2.2.2 Flexibilita.....	18
	2.2.3 Silové schopnosti.....	18
	2.2.3.1 Vertikální výskok.....	19
2.3	Průběh sezóny a jednotlivé fáze přípravy.....	21
2.4	Únava.....	23
2.5	Zranění ve fotbale.....	25
	2.5.1 Vliv růstu a zrání.....	27
2.6	Povrchová elektromyografie.....	28
	2.6.1 Únava svalů na EMG.....	30
3	PRAKTICKÁ ČÁST.....	31
	3.1 Cíl práce.....	31
	3.2 Dílčí cíle.....	31
	3.3 Výzkumné otázky.....	31
4	METODIKA.....	33
	4.1 Charakteristika výzkumného souboru.....	33
	4.2 Postup před měřením.....	33
	4.2.1 Technické podklady měření.....	33
	4.2.2 Příprava kůže před umístěním elektrod.....	34
	4.2.3 Umístění elektrod.....	34
	4.3 Průběh měření.....	35
	4.3.1 Testování.....	35
	4.4 Metodika vyhodnocování výsledků.....	36
	4.4.1 Analýza elektromyografického záznamu.....	36

4.4.2	Statistické zpracování dat	36
5	VÝSLEDKY	37
5.1	Výzkumná otázka 1 (VO1).....	37
5.2	Výzkumná otázka 2 (VO2).....	41
5.3	Výzkumná otázka 3 (VO3).....	44
5.4	Výzkumná otázka 4 (VO4).....	45
6	DISKUZE	48
7	ZÁVĚR	54
8	SOUHRN	55
9	SUMMARY	56
10	REFERENČNÍ SEZNAM.....	57
11	PŘÍLOHY	68
11.1	Příloha 1.....	68
11.2	Příloha 2.....	69

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

BF	-	m. biceps femoris
CMJ	-	countermovement jump
DJ	-	drop jump
EMG	-	elektromyografie
GM	-	m. gastrocnemius medialis
LCA	-	ligamentum cruciatus anterior
LCP	-	ligamentum cruciatus posterior
Lig.	-	ligamentum
m.	-	musculus
SJ	-	squat jump
SM	-	m. semimembranosus
ST	-	m. semitendinosus
U13	-	věková kategorie 13 let
U15	-	věková kategorie 15 let

1 ÚVOD

Fotbal patří mezi nejpobulárnější hru světa, které se věnuje přes 240 miliónů hráčů různých úrovní a jejich počet stále roste (Ekstrand, Hägglund, & Waldén, 2011). V posledních letech tato hra podstoupila rychlý vývoj. Úroveň výkonů se stále zvyšuje, hra je dynamičtější a rychlejší, klade na hráče vyšší nároky na kondici, výbušnou svalovou sílu a koordinaci (Requena et al., 2009). V průběhu fotbalového zápasu vykonávají koordinačně složité pohybové vzory, kde ve velké míře patří excentricko-koncentrické pohyby, jako výskoky, změny směrů, akcelerace apod. Tyto pohyby společně s vysokou intenzitou zatížení kladou vysoký nápor na dynamickou stabilitu kloubů hráče (Byrne, Twist & Eston, 2004).

Spolu se vzestupnou tendencí výkonů jde ruku v ruce i vzestupná tendence zranění. Nejčastěji poraněnou částí těla jsou dolní končetiny, zejména pak kolenní klouby, hlezenní klouby a svalové skupiny zadní části stehna a lýtka (Alentorn-Geli, et al., 2009; Ekstrand, Hägglund, & Waldén, 2011)

Riziko zranění ve sportu v období růstu a zrání sportovců se výrazně zvyšuje nejspíše z důvodu výrazných změn postavy a váhy. Nejvyšší riziko zranění dorůstajících fotbalistů je ve věku mezi 13 a 15 lety, kdy incidence zranění několikanásobně roste až na 65.8 zranění na 1000 hodin hry (Ekstrand, Hägglund, & Waldén, 2011).

Diplomová práce se zabývá problematikou sledování změn ve svalové aktivitě flexorů kolenního kloubu v průběhu celoročního tréninkového cyklu, kdy teoreticky dochází k ovlivnění neuromuskulárního řízení v oblasti kolenního kloubu v důsledku soutěžního a tréninkového zatížení.

2 PŘEHLED POZNATKŮ

2.1.1 Stabilizátory kolenního kloubu

Kolenní kloub patří k nejsložitějšímu kloubu na lidském těle, který je složen z tibiofemorálního (laterálního, mediálního) a patelofemorálního skloubení. Kloubní inkongurenci tibiofemorálního skloubení vyrovnávají dva pohyblivé menisky. Výsledná stabilita kloubu je zajištěna pomocí nekontraktilních statických a kontraktilních dynamických stabilizátorů (Čihák, 2011).

2.1.1.1 Dynamické stabilizátory

Pro zajištění dynamické stability kolenního kloubu jsou nezbytné flexorové i extenzorové svaly kolenního kloubu, jejich správné zapojení, dostatečný nábor motorických jednotek, včasné dosažení optimálního momentu sil a mnoho dalších faktorů (Mayer & Smékal, 2004). Všechny více než dvanáct svalů, které kolenní kloub kříží, ovlivňují jeho pohyblivost, funkci a stabilitu (Perrin, 1993). Kokontrakce jednotlivých antagonistických svalových skupin je rozhodující pro dosažení požadované stability (Russell et al., 2007).

Flexorová skupina

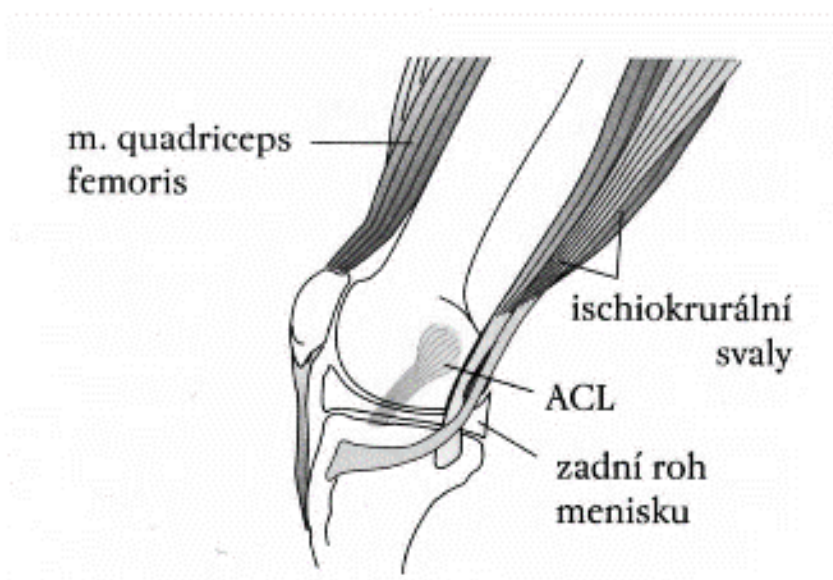
Flexory kolenního kloubu na zadní straně stehna jsou často označovány jako hamstringy. Jedná se o dvoukloubové svaly ovlivňující jak pohyb do extenze kyčelního, tak i do flexe kolenního kloubu. Další funkce jednotlivých svalů hamstringů se pak liší na základě anatomického průběhu. Díky laterálnímu úponu m. biceps femoris na hlavičku fibuly, se sval podílí na zevní rotaci při flektovaném kolenním kloubu. Mediálně se do pes anserinus upíná m. semimembranosus a na posteromedialní část tibie m. semitendinosus. Tyto svaly se podílí na vnitřní rotaci kolenního kloubu (Čihák, 2011).

Pro správnou stabilizaci kolenního kloubu je vyžadována vyvážená aktivace, a tedy určitá kokontrakce, mediálních a laterálních hamstringů (semisvaly vs. m. biceps femoris). Pokud by došlo k opožděné aktivaci, nebo výraznější převaze aktivity ve prospěch m. biceps femoris, je prokázáno, že tento moment síly

destabilizuje koleno zejména vůči silám rotujícím femur vnitřně oproti tibií (Bruhn, Gollhofer & Gruber, 2001).

Hamstringy hrají nezastupitelnou roli při došlapu, doskoku i stojné fázi kroku, ať už se jedná o chůzi, nebo dynamičtější typ pohybu. Dle EMG je nejvyšší aktivita hamstringů při sportovních výkonech těsně před dosažením maximální flexe v kyčelním kloubu a brzy po zahájení extenze v kolenním kloubu ve švihové fázi (Travell & Simons, 1993). Působí jako převodník sil mezi kyčelním a kolenním kloubem a tím přispívají k akceleraci pohybu. Na kolenní kloub přitom působí několik výrazných momentů sil, které ve výsledku musí být v rovnováze, aby nedošlo k poškození struktur kolene.

Nejčastěji v prevenci úrazů měkkého kolene se hovoří o preaktivaci hamstringů. Tah těchto svalů dorzálně zamezuje posunu tibie ventrálně (Hewett, Lindenfeld, Riccobene, & Noyes, 1999; Kim & Hong, 2011), čímž tedy tvoří ochranný mechanismus pro lig. cruciatum anterius. Hamstringy tedy bývají označovány za agonisty předního zkříženého vazy, pokud jejich aktivace podléhá správnému načasování. Dále pro správnou dynamickou stabilitu kolenního kloubu musí prvotní aktivaci hamstringů dobalancovat tah m. quadriceps femoris. Ačkoliv se jedná o antagonistické svalové skupiny, musí se správným timingem pracovat v souhře. Nakonec se při doskoku aktivují mm. gastrocnemii (Hewett et al., 1999).

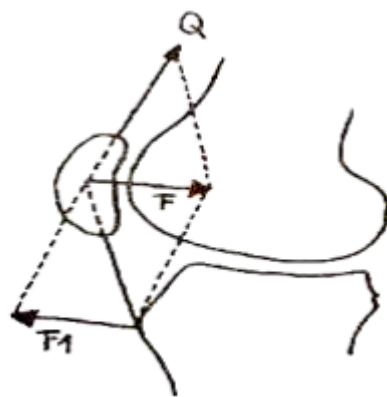


Obrátek 1. Svalové skupiny křížící kolenní kloub. (Gross, Fetto & Rosen, 2015)

M. gastrocnemius je označován za pomocný flexor kolenního kloubu (Čihák, 2011). Nicméně, podíváme-li se na tento sval z pohledu uzavřeného kinematického řetězce, jedná se o jeden z nejdůležitějších svalů podílejících se na vzniku mechanické energie celé dolní končetiny, a může tedy mít velký podíl na vzniku úrazů, jak hlezenního, tak i kolenního kloubu. Svým tahem mm. gastrocnemii vychylují femur oproti tibii dorzálně při současném tlaku do kloubu. Tento moment síly je vyrovnáván aktivací m. quadriceps femoris a napomáhá tak celkové dynamické stabilizaci kloubu (Kvist & Gillquist, 2001). Dle DeMonta & Lepharta (2004) se zvyšuje aktivace mm. gastrocnemii při únavě.

Extenzorová skupina

Hlavním svalem extenzorového aparátu kolene je m. quadriceps femoris skládající se ze čtyř svalových bříšek. Nejdelší hlava, m. rectus femoris, je zároveň důležitým flexorem kyčelního kloubu, tedy dvoukloubovým svalem. Společný úpon všech hlav končí na tuberositas tibie, ve svém průběhu obsahuje sezamskou kůstku, díky které se zvyšuje účinnost kontrakce celého svalu.



Obrázek 2. Působení jednotlivých tahu m. quadriceps femoris na kolenní kloub (Nýdrle & Veselá, 1992).

M. vastus lateralis a medialis mají krom tahu do extenze i mírnou rotační složku, která se vzájemnou kokontrací ruší a je tedy důležité vyvážení jejich aktivace. Dojde-li k narušení časového sledu aktivace mm. vasti vůči hamstringům a mm. gastrocnemii, jedná se o rizikový faktor poškození měkkých struktur kolenního kloubu (Kvist & Gillquist, 2001).

2.1.1.2 *Statické stabilizátory*

Za statickou stabilitu kolenního kloubu zodpovídají vazy, menisky a kloubní pouzdro kolenního kloubu, které působí svým pasivním tahem. (Hughes & Watkins, 2006)

Nejdůležitějšími vazy kolene bývají označovány vazy ležící intraartikulárně ve fossa intercondylaris - ligamentum cruciatum anterius (LCA) a ligamentum cruciatum posterius (LCP). Jejich funkcí je zajištění fyziologického pohybu a stability mezi kloubními plochami tibie a femuru při flexi kolenního kloubu (Hughes & Watkins, 2006).

Přední zkřížený vaz se dělí na anteromediální a posterolaterální svazek vláken. Anteromediální část vazy je označována za delší a silnější. Díky svému průběhu je ve zvýšeném napětí zejména při flexi kolenního kloubu a brání ventrálnímu posunu tibie vůči femuru. Posterolaterální část vazy je naopak více napínána při extenzi a svou funkci má v zajištění rotační stability kolenního kloubu. Celkově LCA poskytuje zhruba 85 % zádržné síly při předozadním posunu, zabraňuje výrazné vnitřní rotaci a varóznímu či valgóznímu zatížení kolenních kloubů. (Nepraš, Matějka & Koudela, 2012, Pauček, Smékal, & Holibka, 2014;).

Zadní zkřížený vaz je zhruba o třetinu silnější – považuje se za nejmohutnější vaz celého kolenního kloubu a má přibližně stejnou délku jako LCA. Svým průběhem se vazy navzájem kříží a při pohybu do flexe se oba kolem sebe ovíjí, a omezují tak vnitřní rotaci tibie vůči femuru (Bartoníček & Heřt, 2002).

Ligamenta collaterale zpevňují kloubní pouzdro po stranách, a zajišťují tak laterální stabilitu kolenního kloubu při extenzi, kdy jsou plně napnuty. Lig. collaterale tibiale v jeho posteriorní části srůstá s kloubním pouzdrem a vnitřním meniskem, zatímco lig. collaterale fibulare dělí od kloubního pouzdra malá vrstva řídkého vaziva. V zadní části se nachází lig. popliteum obliquum jako pokračování m. semimembranosus a lig. popliteum arcuatum. V přední části lig. patellea (Čihák, 2011).

2.1.2 Lombardův paradox

Jedná se o Vélého (2006) popis paradoxního zapojení svalů stehna, které probíhá při vzpřímení, např. ze sedu do stoje, ale může být aplikován i na vertikalizaci z polohy squatu. Dochází zde k extenzi kolenního kloubu pomocí m. rectus femoris a mm. vasti, současně s nimi se aktivují i flexory kolene, hamstringy, které by měly podle zásady reciproční inervace naopak bránit extenzi kolenního kloubu. Svalové skupiny flexorů i extenzorů jsou dvoukloubové, jejich funkce by se měla navzájemně rušit, ale i přesto se svalové skupiny podporují a dochází ke vzpřímení. Celý fenomén popisuje Vélé (2006) jako Lombardův paradox. Jedná se tedy o vzájemnou kokontrakci agonistů s antagonisty jakožto důležitý stabilizační mechanismus řízený centrálně. Z kokontrační funkce zdánlivě antagonistických svalů Lombardova paradoxu lze usoudit, že jejich svalová činnost se modifikuje podmínkami funkce (Véle, 2006).

2.1.3 Neuromuskulární kontrola stability, senzomotorický systém

Neuromuskulární kontrola je nevědomá aktivita dynamických stabilizátorů kloubu probíhající v rámci přípravy a odpovědi na pohyb kloubu, kdy chceme udržet nebo obnovit funkční kloubní stabilitu (Riemann & Lephart, 2002b).

Předpokladem pro správné provedení pohybu je obousměrná výměna informací mezi centrální nervovou soustavou a řízenými svaly. Centrum je zahrnuto neustálým přísunem informací z periferie, aferencí. Tyto podněty jsou v centrální nervové soustavě vyhodnocovány a na základě podrobné analýzy jsou signály reakce vedeny po eferentních drahách k výkonným orgánům, svalům. Zpracování aferentního signálu a další řízení probíhá na třech úrovních – míšní, subkortikální a kortikální. Výsledkem celého senzomotorického procesu je nejčastěji motorická činnost v kvalitě, která je ve velké míře závislá na množství aferentních vstupů. Všechny části senzomotorického systému by měly být flexibilní a adaptabilní, protože požadavky na něj se stále mění (Riemann & Lephart, 2002a; Wasaka, 2016).

Kolenní kloub má malé zastoupení v kortikální senzomotorické reprezentaci, díky tomu je poměrně málo analyzován při kortikální činnosti a snadno se tak vytrácí z vědomého tělového a pohybového schématu člověka. Poruchy aferentace mají

za následek snížení signalizace přetíženého kloubu, a tím pádem zvýšení zranitelnosti kloubu. Poškození měkkých struktur se projevuje snížením propriorecepčního vnímání, a to dále ovlivňuje kontrolu dynamické stabilizace kloubu. (Bruhn, Gollhoffer & Gruber, 2001; Mayer & Smékal, 2004).

2.1.3.1 Propriorecepce a kloubní receptory

Neexistuje jednoznačné vymezení pojmu propriorepce, ale nejčastěji používaná definice popisuje propriorepceci jako kumulativní neurální input informací do CNS z periferních mechanoreceptorů zahrnující jednak povědomí o postavení kloubu v prostoru - vnímání statické polohy a také povědomí o pohybu v kloubu - vnímání dynamiky (Isaac et al., 2007, Knoop et al., 2011).

Proprioreceptory kolenního kloubu se nacházejí ve svalech, šlachách, ligamentech, kloubním pouzdře. V hlavní funkci jsou využívány jako zdroj signálů sloužících k ochraně kolene vůči nepřiměřeným vlivům a možnému pohybovému zranění, další důležitou roli hrají při stabilizaci kloubu a při koordinačním procesu jednotlivých svalových skupin (Knoop et al., 2011)

Jako proprioreceptory podle Králíčka (2011) jsou označovány:

A. svalová vřeténka a Golgiho šlachová tělíska

B. Ruffiniho tělíska – uložená v korii, kategorizována jako statické i dynamické mechanoreceptory, signalizují úhlové zrychlení i intraartikulární tlak

C. ruffiniformní a paciniformní tělíska - jsou podobná Ruffiniho a Vater- Paciniho tělískům, lokalizované jsou ve vazech a kloubních pouzdrech. Soudí se, že ruffiniformní tělíska signalizují extrémní pozici v kloubu a paciniformní tělíska pohyb v kloubu, tedy kinestezii. Zbylé receptory signalizují pozici v kloubu, statestézii.

Signál ze svalových vřetének a Golgiho šlachových tělísek se přenáší do centrálního nervového systému aferentními nervovými vlákny typu $A\alpha$. Informace ze zbývajících typů proprioreceptorů cestuje do centrálního nervového systému vlákny typu $A\beta$ (Enoka, 2015; Králíček, 2011). Volná nervová zakončení v kloubu a jeho okolí produkují bolestivé signály při abnormálním mechanickém nebo chemickém stresu na tkáň (Enoka, 2015).

Propriorecepce se liší v závislosti na věku konkrétního jedince. Se zvyšujícím se věkem dochází ke zhoršení kvality propriorecepce. (Barrett, Cobb & Bentley, 1991).

2.2 Fotbal a pohybové schopnosti

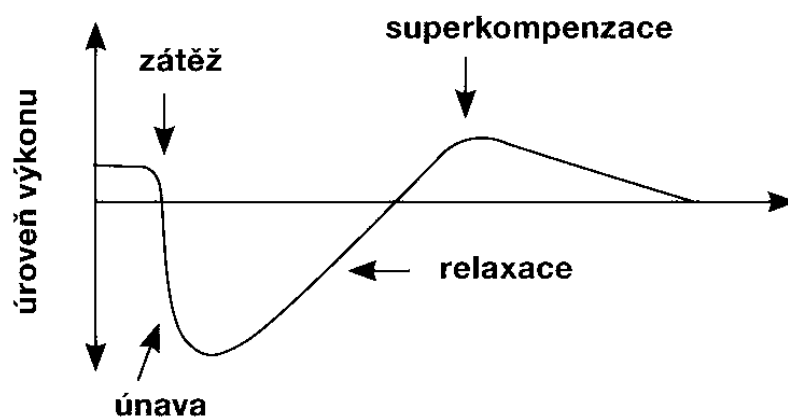
Fotbal je celosvětově velmi populární sport kladoucí na hráče vysoké požadavky. Zrychlení, maximální rychlost, motorická šikovnost a hbitost patří mezi základní specifické vlastnosti hráče. V průběhu fotbalového utkání nejvíce rozhodují dovednosti jako jsou výskoky do výšky, stranové pohyby, kopy, otočky a sprinty, které výrazně souvisí se zdatností a kapacitou nervosvalového systému (Requena et al., 2009).

Za hlavní složky herního výkonu uvádí Kollath (2006) kondici, techniku, taktiku a psychiku.

Kondice vymezuje základní schopnost sportovce, je úzce spojena s motorickými formami zátěže, kterými jsou síla, rychlost, vytrvalost, koordinace a flexibilita (ohebnost). Kondice představuje základní předpoklad pro techniku, kdy bez kondičních základů nelze dosáhnout vyšší úrovně v technice (Kollath, 2006).

Cílem tréninku je pomocí pravidelně se opakujících zátěžových (stresových) podnětů dosáhnout adaptace na biochemické, funkční, morfologické a psychické změny v jednotlivých orgánech a v organismu jako celku. Podnět by měl být optimální intenzity, aby nepřevyšoval funkční hranice systémů. Fyziologicky by následně mělo dojít k obnově dynamické rovnováhy, zdokonalení regulačních mechanismů a k postupné adaptaci.

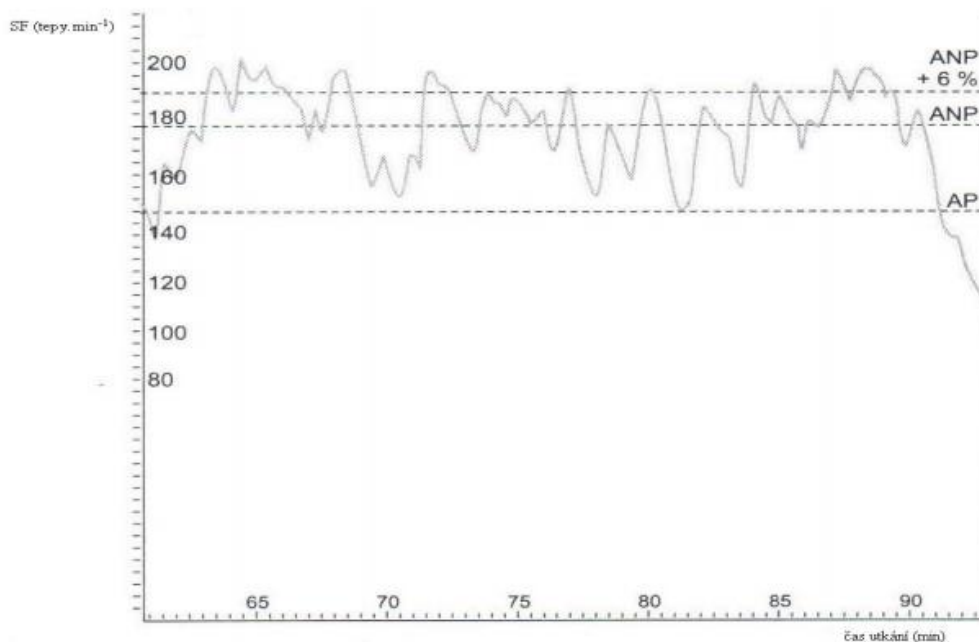
Adaptační pochody jsou podmíněny střídáním dostatečného zatížení a odpočinku. Během zotavné fáze dochází k obnově energetických rezerv, a dokonce k nárůstu rezervní energie – tzv. superkompenzaci. (Lehnert, Novosad, Neuls, Langer & Botek, 2010).



Obrázek 3. Schématické zobrazení superkompenzace. (Škorpil, 2018).

2.2.1 Vytrvalostní schopnosti

Grasgruber & Cacek (2008) uvádějí, že nejdůležitějším aspektem fotbalu je kapacita energetických zásob, která je u fotbalu nenahraditelná a největší ze všech sportů, z důvodu délky utkání (2 x 45 min.) a nemožnosti opakovaného střídání hráčů. V průběhu utkání fotbalista vykoná průměrně 900-1100 intervalů činností střídající klus, stoj a vysoce intenzivní aktivity jakožto sprint, výskoky a souboje o míč (Psotta et al., 2006).



Obrázek 4. Záznam SF hráče dorostu (1. ligy) v posledních 30 minutách. (Psotta et al., 2006)

Dále bylo prokázáno, že prodloužené intermitentní cvičení napodobující průběh fotbalového utkání, má negativní vliv na svalovou aktivitu, a to dokonce i tehdy, když byla zachována svalová síla (Rahnama, Lees & Reilly, 2006).

2.2.2 Flexibilita

Existuje přímá závislost mezi flexibilitou svalů a poranění svalového aparátu u profesionálních hráčů fotbalu. U skupiny hráčů se zraněním hamstringů a m. quadriceps femoris bylo prokázáno snížení flexibility těchto svalů. Autoři Witvrouw, Danneelsm, Asselman, D'Have & Cambier (2003) vyvozují z výsledků studie, že vyšetřením tuhosti svalů dolních končetin je možno identifikovat hráče, kterým hrozí rozvíjející se riziko zranění hamstringů a m. quadriceps femoris. Zároveň neodhalili závislost mezi flexibilitou svalů dolních končetin a zraněním adduktorů a svalů lýtka (Witvrouw et al., 2003).

Neopomenutelnou součástí každého tréninku i zápasu je zahřátí a strečink před výkonem, které působí preventivně proti poranění muskuloskeletálního systému dolních končetin (Thacker, Gilchrist, Stroupan & Kimsey, 2004). Existuje několik forem strečinku. Před výkonem je doporučovaný dynamický strečink oproti strečinku statickému, který v konečném důsledku snižuje izometrickou i izokinetickou výkonnost jedince. Oproti tomu dynamický strečink výkonnost zvyšuje (Behm, Blazevich, Kay & McHugh, 2016; Serefoglu, Sekir, Gür & Akova, 2017)

2.2.3 Silové schopnosti

Svalová síla je determinována stažlivostí svalu. Ve fotbale se využívá kombinace všech forem svalových kontrakcí – koncentrických, excentrických i izotonických, stabilizačních, prováděných v dynamickém sledu. Svalová síla ve fotbale hraje důležitou, nicméně ne rozhodující funkci. Je třeba při sprintech, výskocích, změnách směru, osobních soubojích i při kopech (Eniseler, Sahan, Vergun & Mavi, 2012). Mezi hlavní faktory ovlivňující svalový stah patří množství svalové hmoty, intramuskulární koordinace, intermuskulární koordinace, úroveň aktivace centrální nervové soustavy, elasticita svalové a šlachové tkáně, energetické zásoby a další (Zatsiorsky & Kraemer, 2006).

Vysoké nároky jsou kladeny zejména na dynamickou sílu extenzorů kolene, flexorů kolene i svalů lýtkových. V dnešním fotbalu hraje důležitou roli, aby hráč byl schopen vyvinout svalovou sílu v co nejkratším časovém úseku. Upřednostňuje se tak oproti síle maximální síla explozivní, která tvoří základ pro výšku vertikálního skoku a běžecké rychlosti (Papaevangelou, Metaxas, Riganas, Mandroukas & Vamvakoudis, 2012; Psotta et al., 2006). Hoff & Helgerund (2004) popisuje korelaci mezi maximální silou, explozivní silou a rychlostí běhu.

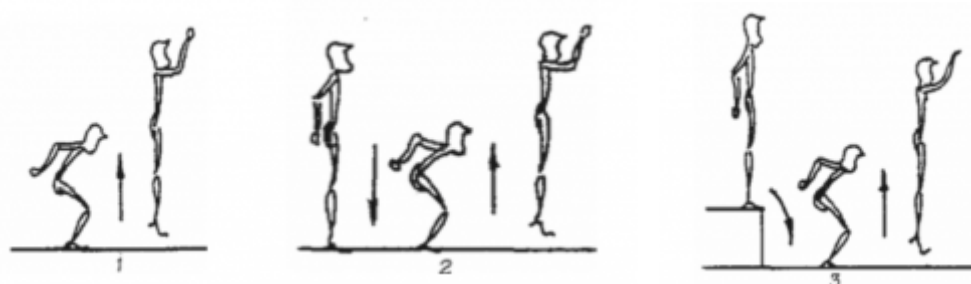
2.2.3.1 Vertikální výskok

Vertikální skok je běžná automatická motorická aktivita, se kterou se nejčastěji setkáváme při sportovním výkonu basketbalistů, skokanů do výšky, volejbalistů, ale i u hráčů fotbalu, zejména stoperů a útočníků. Poskytuje výpovědní hodnotu o velikosti explozivní síly dolních končetin. Často bývá vertikální skok využíváný pro testování jak výbušné síly, kdy se hodnotí výška skoku, ale také pro testování dynamické stability kloubů dolních končetin. Existuje několik forem vertikálního skoku:

A. Squat jump (skok z podřepu) – Aktivita začíná koncentrickou fází z výchozí statické pozice 90° flexe v kolenních kloubech. Tento typ výskoku vykazuje nejnižší výšku dosaženou výskokem.

B. Countermovement jump (skok s protipohybem) – Výchozí polohou je stoj, následně dochází k přenosu kinetické energie z excentrické kontrakce flexe kolenních a kyčelních kloubů na koncentrickou kontrakci v opačném směru.

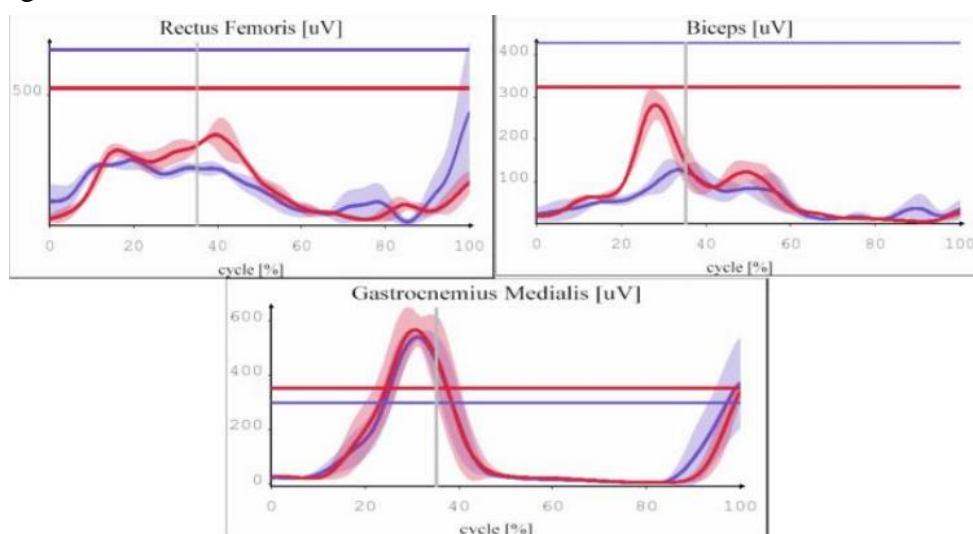
C. Drop jump (odraz po seskoku) – Skok, při kterém dochází k vyšší reakční síle díky probíhajícímu cyklu protažení a zkrácení svalu (McBride, McCaulley, Cormie, 2008).



Obr. 5. Formy vertikálního skoku (1 – squat jump, 2 – countermovement jump, 3 – drop jump). (Newton, 2018)

Biomechanika a kinematika vertikálního výskoku je komplikovaná z důvodu současného zapojení několika kloubů a mnohých dvoukloubých i jednokloubých svalů současně. Před squat jumpem dochází ke snížení těžiště, zvyšují se úhly jednotlivých kloubů dolních končetin, aktivují se m. gastrocnemius, m. tibialis anterior a stabilizátory kolenního kloubu, kyčelního kloubu a bederního úseku páteře (Nagano, Komura, Fukashiro & Himeno, 2005). V odrazové fázi dochází k silnému impulzu extenzorů kyčelního kloubu, kolenního kloubu a plantárních flexorů hlezna s nábořem v proximodistálním směru, tedy od kyčle k hleznu. Největší impulz síly během odrazu vertikálně vyvinou mm. gastrocnemii, které svou mechanickou energii musí rozdělit do dvou zainteresovaných kloubů. Odrazová fáze končí odlepením prstů od podložky (Umberger, 1998).

Autoři Čoh, Živkovič, & Žvan (2016) měřili zapojení jednotlivých svalů dolní končetiny a trupu pomocí elektromyografického záznamu u squat jumpu, čímž chtěli eliminovat elastickou energii vznikající reflexními mechanismy ve svalech a šlachách při countermovement a drop jumpu. Odrazovou fázi začíná m. erector spinae společně s m. gluteus maximus, extenzory kyčle, následně se zapojuje m. vastus lateralis et medialis, a celou odrazovou fázi dokončuje m. gastrocnemius medialis, čímž potvrzují proximo-distální nábor svalové aktivity. Po celou dobu odrazové fáze je poměrně nízká aktivita m. rectus femoris. Úvodní zrychlení je generováno z extenzorů kyčle, následně z extenzorů kolene a naposledy impuls síly udávají plantární flexory hlezna. Největší peak zaznamenali u m. gluteus maximus a m. gastrocnemius medialis.



Obrázek 6.: EMG aktivita vybraných svalů během squat jump (Čoh, Živkovič, & Žvan, 2016)

Odlišný timing svalů popisují autoři (Arabantzi, Papadopoulos, Prassas, Komsis & Gourgoulis, 2000) při snímání elektromyografické aktivity v průběhu drop jumpu. Při seskoku nejdříve dochází k aktivaci m. gastrocnemius, následuje m. biceps femoris, hned po něm nastupuje aktivita m. rectus femoris. Pokud výchozí podstavec pro seskok je zvýšen na 40 až 60 cm, dochází v průměru ještě k dřívějšímu zapojení m. gastrocnemius, což nasvědčuje lepší stabilizaci hlezenního kloubu a ochraně kolenního kloubu před posunem v tibiefemurálním kloubu díky koaktivaci s m. rectus femoris a hamstringy.

Nábor svalů v oblasti lýtky a kotníku hraje důležitou roli při dynamické stabilizaci kolenního kloubu i podle ostatních autorů. Při únavě svalu m. quadriceps femoris částečně nahrazuje jeho stabilizační funkci m. gastrocnemius, a provádí tak synergistickou a kompenzační dynamickou stabilizační funkci (Nyland et al, 1997). Jako ochranou neuromuskulární odpověď označili také Shultz et al. (2000) zvýšenou aktivitu pálení m. gastrocnemius oproti hamstringům, které více pálily oproti m. quadriceps femoris při náběhu do stresového rotačního postavení tibiofemorálního kloubu. Tato aktivace odpovídá spíše disto-proximálnímu náboru svalových skupin (Hewett, Zazulak, Myer & Ford, 2005).

Mnohem rizikovější fází vertikálního výskoku z pohledu možného zranění je doskok. Jedná se o problematiku probíranou řadou autorů v rámci prevence. Zásadní roli v aktivaci svalů při znovuobnovení kontaktu s podložkou tvoří m. quadriceps femoris, hamstringy i m. gastrocnemius. Právě správný timing a dostatečná síla hamstringů, podtrhnutá aktivitou m. gastrocnemius hraje zásadní roli v rámci stabilizace kolenního kloubu. Řada debat je vedena na téma, zdali je reflexní aktivace svalů dostatečně rychle reaktivní, aby došlo k včasné stabilizaci právě díky svalovému aparátu. (De Ste Croix & Deighan, 2012; Myer et al., 2004).

2.3 Průběh sezóny a jednotlivé fáze přípravy

Periodizace tréninkového procesu zabezpečuje plynulost, systematickosti a soustavnost v celoroční přípravě fotbalistů. Jednotlivé tréninkové etapy určují návaznost v procesu budování sportovní formy, přičemž jednotlivá období – dvě přípravné, dvě hlavní a dvě přechodné, jsou charakterizovány jednotlivými změnami cílů, úkolů, intenzity a formy tréninků. Pravidelným obměňováním

adaptačních podnětů v průběhu ročního cyklu je snaha dosáhnout optimálního herního výkonu. Ve fotbale se využívá tzv. dvojité periodizace, což znamená, že v průběhu sezóny směřuje ke dvěma vrcholům. Jednotlivých šest fází celoročního plánu u většiny českých klubů zúčastňujících se soutěží je následující (Votík, 2005).

Tab. 1.: Periodizace ročního cyklu ve fotbale (Votík, 2005).

Letní přípravné období	Podzimní hlavní období	Zimní přechodné období	Zimní přípravné období	Jarní hlavní období	Letní přechodové období
červenec– srpen	srpen– listopad	prosinec– leden	leden– březen	březen– červen	červen– červenec
4-8 týdnů	13-15 týdnů	4-6 týdnů	10-12 týdnů	13-15 týdnů	2-4 týdnů

Přípravné období

Hlavním cílem přípravného období je zaměřit se na všechny složky základní kondice hráče. Cílem se tedy zlepšit celkovou svalovou sílu, zatížitelnost kardiovaskulárního systému, rychlost a hbitost jedinců.

Samotné přípravné období lze ještě rozčlenit do jednotlivých čtyř fází. Ze začátku období se trénink zaměřuje na přípravu jedince na následnou zátěž. Využívá se specifických i nespecifických cvičení v nízkých intenzitách. Na to navazuje kondiční blok zaměřený na rozvoj kondičních schopností – rychlosti, vytrvalosti, síly a koordinace. Poté dochází ke snížení objemu, ale zvýšení intenzity cvičení. Jako poslední se přechází na trénink specifických cvičení s míčem, rozvoj technické a taktické stránky. Přípravné období graduje zhruba 7-10 dní před prvním mistrovským zápasem, kdy už se jen ladí forma.

Hlavní období

Hlavní soutěžní období vždy probíhá na jaro a na podzim. Základním požadavkem v tomto období je udržet optimální formu a výkonnost hráče a celého týmu po celou dobu soutěžního období, tedy od prvního, až po poslední mistrovský

zápas. Nezanedbatelnou roli hraje psychologická odolnost hráčů, zejména pak v závěru hlavního období, kdy se hrají rozhodující utkání. Vysoké nároky jsou kladeny na jedince i celý realizační tým (Votík, 2005).

V průběhu závodního období je odehráno minimálně 30 zápasů, což dává hráčům důležité adaptivní podněty, nicméně jejich problémem je stereotypnost a jednostrannost zatížení. To se může negativně podepsat na výkonnosti a zdravotním stavu jedince (Bedřich, 2006). Kačáni & Horský (1988) zdůrazňuje pravidelnost ve střídání zatížení a následného odpočinku.

Přechodné období

Přímo navazuje na hlavní soutěžní období a je zaměřeno na regeneraci organismu hráče. Jak jeho fyzické, tak i psychické stránky organismu. Trénink je vedený formou aktivního odpočinku, snižuje se objem i intenzita zatížení. Často je také období využíváno k rehabilitaci, doléčení chronických obtíží, ke kompenzačnímu a stabilizačnímu cvičení. Doporučovány jsou aktivity jako plavání, volejbal, tenis, a podobně jako metody k udržení přiměřené svalové síly (Metaxas, Koutlianos, Sendelides & Mandroukas, 2009; Votík, 2005).

2.4 Únava

Únavu můžeme definovat jako soubor subjektivních, ale také objektivních změn, registrovaných v průběhu a po skončení intenzivní tělesné zátěže. Jedná se o pokles motorické i mentální funkce, projevuje se snížením silové kapacity, anebo zkrácením celkové doby trvání aktivity u dlouhotrvajících aktivit. (Máček & Radvanský, 2011; Søgaard, Gandevia, Todd, Petersen & Taylor, 2006). Jiní autoři se dívají na únavu jako na soubor biomechanických a neuromuskulárních faktorů, které působí jako ochranný mechanismus před vznikem zranění (Kittnar, et al., 2011; Padua et al., 2006).

Únava se objevuje postupně od zahájení svalové aktivity. S kumulací únavy v organismu dochází k ovlivnění svalového stahu, koordinace, svalové tuhosti, kinematiky a dalších faktorů, které vedou k celkovému poklesu výkonnosti jedince zejména v obratnostní a rychlostní sféře. Únava je měřitelná metodou snímání

elektromyografické aktivity, hodnocením změn autonomního nervového systému, nebo pomocí dynamometrie, a to změřením poklesu kontraktilní funkce svalu. Podle nejnovějších poznatků za vznikem únavy stojí vyčerpání energetických zdrojů – deficit mediátorů, látek potřebných ke spalování, ale také snížení schopnosti tkáně tyto látky využít.

Únava v určitém rozsahu je fyziologický stav, kdy bezprostředně po aktivitě a v blízkém časovém intervalu po jejím skončení, dochází k obnově energetických zdrojů. Fyziologická únava je označována za kladný stav, jelikož slouží k vyvolání adaptačních podnětů, a následně k růstu výkonnosti (Lee, 2010; Máček & Radvanský, 2011).

Pokud je organismus sportovce opakovaně vystavován vysoké zátěži, kterou není schopný kapacitně zvládnout, dostává se do patologického stavu tzv. přetrénování. Jedná se o celkovou chronickou únavu zahrnující pokles excitace motoneuronu na spinální a supraspinální úrovni (Boyas & Guével, 2011). Noakes (2012) označuje za hlavní příčinu vzniku centrální únavy mozek, který reguluje počet zapojovaných motorických jednotek svalových skupin. Pro přetrénování je typické snížení kapacity maximálního výkonu, bolestivost a oslabení svalů, snižuje se funkce nadledvin, a s tím i neschopnost adekvátně reagovat na počínající zátěž. Zvyšuje se aktivita cytokinů, nastávají hematologické a hormonální změny, reaguje autonomní nervový systém, časté jsou změny nálad, ztráta motivace, nechutenství či průjem. (Lee, 2010, Máček & Radvanský, 2011).

Vysokointenzivní aktivity jako sprinty, rychlý běh, výskoky, směny směrů, zrychlování, zpomalování a kopání se několikrát opakují v průběhu fotbalového utkání a mohou být spojovány se vznikem patologické místní únavy. V řadě těchto pohybových vzorů převažuje excentrická svalová kontrakce, která je potencionálně spojovaná s poškozováním svalové tkáně a vznikem mikrotraumat (Byrne, Twist & Eston, 2004). Poškození svalu je důsledkem mechanického narušení vlákna a jeho membrány, dochází k desorganizaci a ztrátě některých myofilament a Z-disků. V poškozeném svalu dochází dočasně ke snížení svalové funkce, zvýšení intracelulárních proteinů v krvi, zvýšení bolestivosti a vzniku otoku v okolí. Sekundární poškození je spojeno se zánětlivým procesem a náhradou poškozené svalové tkáně vazivem (Butterfield 2006; Raastad et al., 2010). Zvýšené hladiny

markerů potencionálního poškození svalů byly z krvi hráčů na vyšší úrovni soutěže zjištěny na konci fotbalového zápasu. Markery v krvi poukazující na mikrotraumata svalové tkáně přetrvávají několik hodin až několik dní po skončení zápasu, avšak následující přestavba svalové tkáně je definitivní (Silva et al., 2013).

S narůstajícím věkem dochází postupně ke snižování výkonnosti, a zároveň také k rychlejšímu nástupu únavy. Z morfologického i funkčního hlediska nejlépe jsou na tom osoby v rozmezí 20 až 25 let (Scherrer, 1995). Únavové protokoly zabývající se srovnáním věkových kategorií s průměrným věkem 11, 14 a 24 let potvrdila informaci, že s narůstajícím věkem dochází ke snížení resistance vůči únavě (Dipla et al., 2009).

2.5 Zranění ve fotbale

Fotbal je označován za nejpoblárnější sport moderní doby, ke kterému se hlásí až 265 milionů hráčů různých úrovní ze 168 zemí celého světa. Počet lidí věnující se fotbalu stále narůstá, hraje se více agresivněji a mnohem rychleji než dříve. S tím souvisí i nárůst zranění u hráčů kopané (Alentorn-Geli, et al., 2009; Pfirmann, Herbst, Ingelfinger, Perikles, & Suzan, 2016). Výzkum Kellera et al. (1987) ukázal, že až 50–60 % ze všech sportovních zranění se jedná o zranění hráčů fotbalu. Každého hráče fotbalu za jeho kariéru potká alespoň jedno zranění, pro některé se úraz stává koncem aktivní kariéry. Příčiny úrazů ve fotbale jsou různé, přibližně 50 % zranění je způsobeno faulem, mezi ostatní příčiny patří běh, výskoky, kopy, změny směrů anebo dlouhodobé přetěžování muskuloskeletálního systému (Junge, Rosch, Peterson, Graf - Baumann & Dvorak, 2002). Ekstrand, Hägglund, & Waldén (2011) popisují, že 21 % zranění u hráčů pochází z rozhodčím uznaného faulu protihráče v průběhu soutěžního utkání. Jedná se ve velké většině o výrony hlezenního kloubu, kolenního kloubu, či pohmoždění stehna.

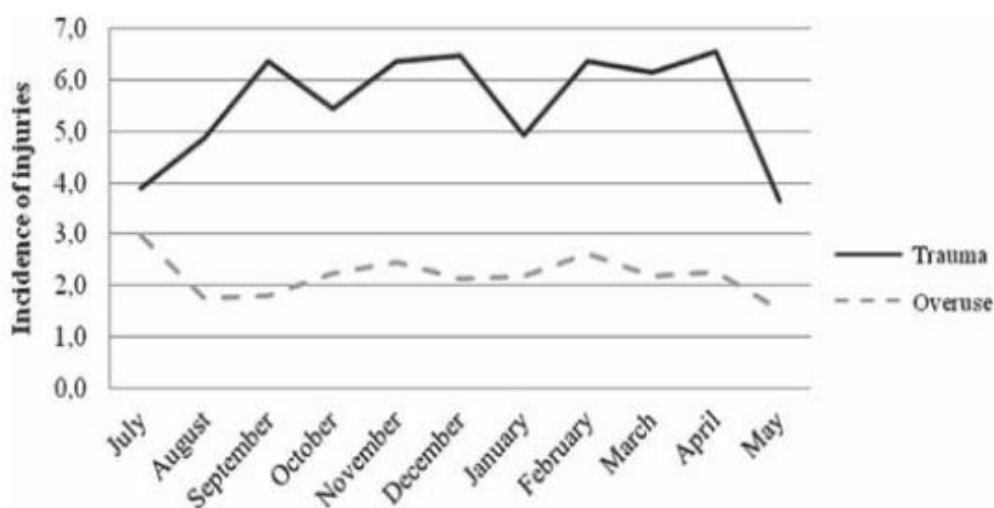
Riziko zranění u fotbalistů má přímou úměrnost s výkonnostní úrovní hrané soutěže. Je prokázáno zvyšující se riziko zranění u fotbalistů hrajících vyšší úrovně soutěží. Vyšší riziko zranění je pravděpodobně zapříčiněno větším objemem zatížení, častější frekvencí tréninkových jednotek, větším počtem soutěžních i mimosoutěžních utkání a vyšší intenzitou zatížení během tréninků. Frekvence zranění hráčů vyšší

úrovně průměrně odpovídá osmi zraněním na 1000 hodin hry (Ekstrand, Hägglund, & Waldén, 2011).

Polovina, až tři čtvrtiny (některými autory až 88 %) zranění při fotbale je lokalizováno na dolních končetinách, z toho přibližně 25-38 % odpovídá bezkontaktnímu poranění stehenního svalstva (Frisch et al., 2011; Hawkins, Hulse, Wilkinson, Hodson, & Gibson 2001) a přibližně 1,3 % poranění LCA (Silvers & Mandelbaum, 2007). Ze všech úrazů předního zkříženého vazy nejčastěji dochází k jeho přetržení při nekontaktním poranění, a to až v 70–90 % (Hertel et al., 2004; Silvers & Mandelbaum, 2007).

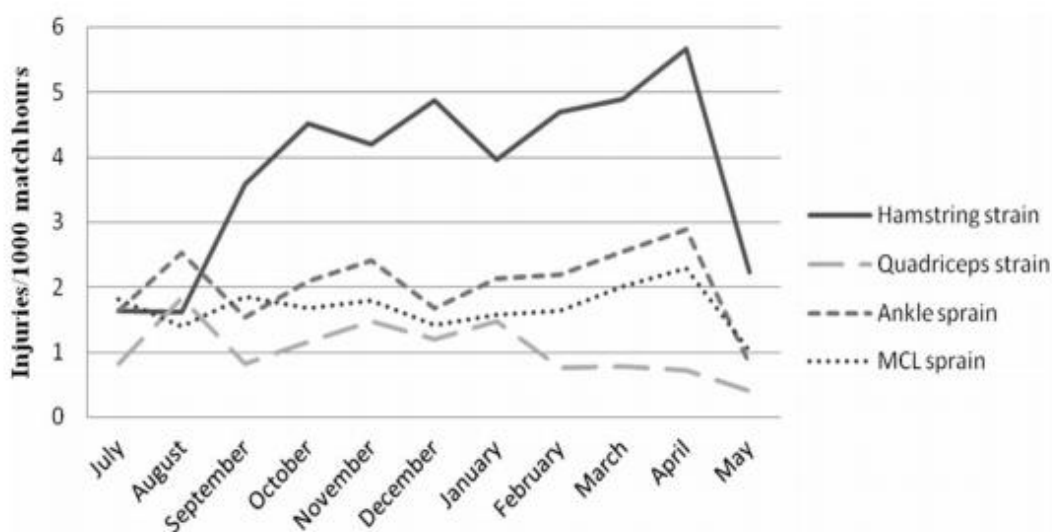
Až 12 % ze všech zranění se u hráčů vyskytuje opakovaně. Výrazně delší doba rekonvalescence byla zaznamenána u opakovaných zranění vůči prvním zraněním, a to v poměru 24 dnů versus 18 dnů rekovalence (Ekstrand, Hägglund, & Waldén, 2011).

V průběhu sezóny dochází k typickému rozložení traumatického úrazu (je známá příčina úrazu, rychlý nástup potíží) a zranění z přetížení (bez přímé příčiny úrazu, pomalý nástup potíží). Ke traumatickému poranění dochází nejčastěji v období září – květen, tedy v průběhu soutěžního období. Zatímco k úrazům z přetížení dochází typicky nejčastěji v červenci, tedy během vyvrcholení předsezónní přípravy – viz Graf 1 (Ekstrand, Hägglund, & Waldén, 2011).



Graf 1: Výskyt rozložení traumatických úrazů (Trauma) a zranění z přetížení (Overuse) v průběhu celé sezóny (Ekstrand, Hägglund, & Waldén, 2011)

Na Grafu 2 jsou vyobrazeny nejčastější zranění dolních končetin a jejich výskyt v průběhu sezóny. Je zřejmé, že nejčastější zranění v průběhu sezóny je natažení hamstringů. Největší riziko jejich poranění je v období března až květen, kdy se jedná o soutěžní sezónu. Nižší riziko sebou nesou ostatní úrazy jako natažení m. quadriceps femoris, podvrtnutí hlezenního kloubu, nebo riziko poranění mediálního kolaterálního vazy. Jejich incidence však v soutěžním období také mírně vzrůstá (Ekstrand, Hägglund & Waldén, 2011).



Graf 2: Rozložení úrazů v průběhu sezóny – Hamstring strain (natažení hamstringů), Quadriceps strain (natažení m. quadriceps), Ankle sprain (podvrtnutí hlezenního kloubu), MCL sprain (zranění mediálního kolaterálního vazy). (Ekstrand, Hägglund, & Waldén, 2011)

2.5.1 Vliv růstu a zrání

Mnoho výzkumů je věnováno problematice zranění mládeže v období jejich růstu a zrání. Právě v tomto období zhruba od 9 do 18 let dochází k signifikantnímu nárůstu množství zranění, které v mnohých případech předčasně ukončí kariéru mladých fotbalistů. Rapidní nárůst zranění popsali Rumpf & Cronin (2012) v rozmezí 13 – 15 let věku, kdy dochází až k osminásobnému nárůstu zranění oproti věkovým skupinám 9 – 12 let a 16 - 18 let. Vyšší výskyt zranění se objevuje

u nižších úrovní soutěže, což nejspíš souvisí s informovaností trenérů ohledně prevence. Nejvíce zranění je datováno do začátku druhé poloviny soutěžního období (Rumpf & Cronin, 2012).

Small, McNaughton, Greig & Lovell (2010) označili za nejčastější zranění ve fotbale hamstringy, zatímco Brophy, Schmitz & Wright (2012) označili měkké tkáně kolenního kloubu, především předního zkříženého a mediálního kolaterálního vazy. Russell, Croce, Swartz & Decoster (2007) vyzorovali výrazný rozdíl v timingu aktivace hamstringů a m. quadriceps femoris u dospělých a dětí, kdy došlo k výraznější aktivaci hamstringů u dospělých před doskokem oproti adolescentům. Můžeme tedy vyvodit, že feed-forward mechanismy stabilizace kolenního kloubu a zabránění dopředné translaci tibie jsou vyspělejší u dospělých jedinců. Rozdíl mezi pohlavím nebyl zaznamenán.

Rumpf & Cronin (2012) dávají za příčinu zvýšené incidence zranění v období mezi 13. až 15. rokem života (65,8 zranění/ 1000 hodin hry) největší růst a vývoj adolescentů právě v tomto období. Dochází k výraznému růstu a zranění, dochází jak ke strukturálním, tak i k funkčním změnám v organismu. Svalový systém se nestihá přizpůsobovat rychlému růstu kostí v tomto období. Následně sval v relaxovaném stavu vykazuje neustálé zvýšené napětí, a může až docházet k zvýšenému konstantnímu tahu v oblasti úponů, a ke vzniku aseptické kostní nekrózy. Zásadně ovlivněné je i somatomotorické vnímání, které v důsledku ovlivňuje motorické a koordinační schopnosti jedince. Zvýšená neuroplasticita mozku je výsledkem přirozeného vývoje nervosvalového systému a vede k rozvoji pohybových dovedností (Read, Oliver, De Ste Croix, Myer & Lloyd, 2015).

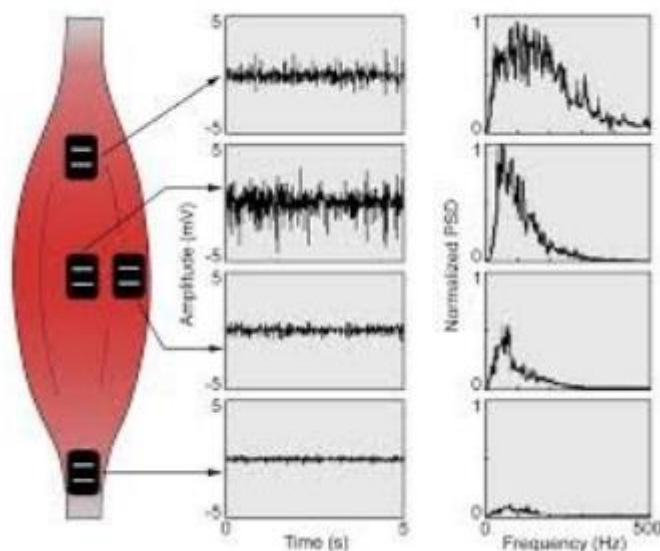
2.6 Povrchová elektromyografie

Povrchová elektromyografie je metoda umožňující snímat elektrické projevy činnosti svalového aparátu, a to pomocí povrchových elektrod nalepených na kůži nad svalovým bříškem. Svalové buňky tvoří elektrické potenciály, které generují potenciálové pole, a to je zachytáváno na povrchu kůže. Výsledná elektromyografická křivka vzniká sumací potenciálů většího počtu motorických jednotek svalu. Její velikost je závislá na počtu detekovaných aktivovaných motorických jednotek, typu a průměru svalových vláken, umístění a hloubce aktivních svalových vláken

uvnitř svalu, množství tkáně mezi elektrodami a motorickými jednotkami, rychlosti pálení. (Pánek, Pavlů, & Čemusová, 2009; Rodová, Mayer, & Janura, 2001).

Na základě vizualizace signálu můžeme hodnotit kontrakční složku svalu, při měření více svalových skupin současně pak i timing svalových souher. Ve fyzioterapii je často využíván k objektivizaci účinků terapie, při výzkumné práci u pacientů či sportovců, nebo ve formě biofeedbacku (Rodová, Mayer & Janura, 2001).

Podstatou bipolárního snímání je použití dvou elektrod, které by měly být uloženy paralelně nad svalovým vláknem. Od sebe by měly být ideálně vzdáleny 20 mm. Pokud se jedná o menší svaly, jejich vzdálenost by neměla přesahovat čtvrtinu délky svalových vláken. Referenční elektroda se lepí na elektricky neaktivní místo, tedy kostěný výstupek apod. Důležitým faktorem je očištění kůže před nalepením a umístění elektrody na střed svalového břicha, jelikož zde měříme nejvyšší amplitudu signálu. Chybou je nalepení elektrody na šlachu, k okraji svalu, kde by mohlo dojít k současnému snímání aktivity i motorických jednotek jiného svalu, či na inervační zónu, kde by teoreticky výsledná amplituda měla být nulová (Kondrad, 2005; Krobot, & Kolářová, 2011).



Obr. 7. Změna amplitudy a frekvenčního spektra v závislosti na umístění elektrod (De Luca, 1997)

2.6.1 Únava svalů na EMG

Svalová únava se velice často spojuje se zraněním ve sportu, ať už se jedná akutní úraz, nebo chronické poruchy pohybového systému (Rodová, Mayer, & Janura, 2001).

Svalová únava přímo ovlivňuje kontrakci svalu, jelikož svalová tkáň již není schopna nadále zajistit kontraktálním elementům dostatek metabolitů z důvodu jejich lokálního vyčerpání, nebo ischemie. Na elektromyografickém záznamu ji můžeme zaznamenat ve formě snížení frekvenčního spektra a změnou amplitudy (Croce, Miller & Horvat, 2008).

Intenzita cvičení rozhoduje o směru výchylky amplitudy. U intenzivního cvičení dochází ke snížení amplitudy na základě hromadění draslíkových iontů v intersticiu. Při prodlouženém cvičení naopak dochází k postupnému snižování amplitudy elektromyografického signálu paralelně s únavou (Rodová, Mayer, & Janura, 2001). Také Kellis a Baltzopoulos (1999) a Masuda, Masuda, Sadocama, Inaki a Katsuta (1999) popisují snížení amplitudy jako reakci na nastupující únavu a na vyčerpání energetických zásob. Dle Kondrada (2005) při delší aktivitě nastává postupná aktivace ostatních motorických jednotek, a to se následně projeví nárůstem amplitudy a střední frekvence. Snižuje se také rychlost vedení akčních potenciálů na membráně svalu a rychlost náboru dalších motorických jednotek, což ve výsledku posunuje výkonové spektrum směrem k nižším frekvencím, tedy doleva.

3 PRAKTICKÁ ČÁST

3.1 Cíl práce

Cílem diplomové práce je objektivizovat a posoudit rozdíly ve svalové aktivitě flexorů kolenního kloubu dominantní dolní končetiny během squat jumpu pomocí povrchové elektromyografie u fotbalistů žákovských kategorií na konci sezóny 2016/2017 a na začátku sezóny 2017/2018.

3.2 Dílčí cíle

- Zhodnotit rozdíl ve svalové aktivitě flexorů kolenního kloubu podle ukazatele nejvyššího peaku (mean), mean frekvence a doby potřebné k dosažení nejvyššího peaku (čas) na konci a na začátku sezóny u sledovaných hráčů kategorie U13.
- Zhodnotit rozdíl ve svalové aktivitě flexorů kolenního kloubu podle ukazatele nejvyššího peaku (mean), mean frekvence a doby potřebné k dosažení nejvyššího peaku (čas) na konci a na začátku sezóny u sledovaných hráčů kategorie U15.
- Zhodnotit rozdíl ve svalové aktivitě flexorů kolenního kloubu podle ukazatele nejvyššího peaku (mean), mean frekvence a doby potřebné k dosažení nejvyššího peaku (čas) mezi žákovskými kategoriemi U13 a U15.

S ohledem na stanovené cíle diplomové práce jsme definovali následující výzkumné otázky (VO).

3.3 Výzkumné otázky

VO1: Je rozdíl ve svalové aktivitě mezi koncem sezóny 2016/17 a začátkem sezóny 2017/18 u sledovaných hráčů kategorie U13?

VO2: Je rozdíl ve svalové aktivitě mezi koncem sezóny 2016/17 a začátkem sezóny 2017/18 u sledovaných hráčů kategorie U15?

VO3: Je rozdíl ve svalové aktivitě na konci sezóny 2016/2017 mezi hráči mužského pohlaví mládežnických kategorií U13 a U15?

VO4: Je rozdíl ve svalové aktivitě na začátku sezóny 2017/2018 mezi hráči mužského pohlaví mládežnických kategorií U13 a U15?

4 METODIKA

4.1 Charakteristika výzkumného souboru

Výzkumný soubor byl vytvořen aktivními hráči fotbalu mužského pohlaví žákovských kategorií U13 a U15 z olomouckého klubu SK Sigma Olomouc. Do souboru bylo zahrnuto celkem 35 hráčů, z toho 18 hráčů ve věkové kategorii 13 let, a 17 hráčů ve věkové kategorii 15 let.

Výzkum spadá do projektu GAČR 16-13750S, vedený hlavním řešitelem doc. PaedDr. Michalem Lehnertem, Dr. pod názvem „Kumulativní efekt únavy na neuromuskulární řízení kolene a riziko zranění u mladých sportovců během růstu a zrání“. Celý projekt byl schválen etickou komisí Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého dne 19.3.2015 (Příloha 1).

Před vlastním měřením byli všichni probandi a jeho zákonní zástupci informováni a seznámeni s důvodem výzkumu a obsahem celého projektu. Každý proband zahrnutý do výzkumu poskytl informovaný souhlas, podepsaný jeho zákonným zástupcem (Příloha 2). Současně s tímto souhlasem vyplnili i dotazník zjišťující informace o prodělaných úrazech a zdravotních komplikacích, které by mohly ovlivnit výsledky studie.

Ze souboru byli vyloučeni všichni probandi, kteří udávali akutní bolestivost, která by ve výsledku mohla ovlivnit sportovní výkon. Ve výzkumu byla snímána svalová aktivita dominantní dolní končetiny, která byla označena pomocí testu výstupu na stupínek.

4.2 Postup před měřením

4.2.1 Technické podklady měření

Pro záznam elektromyografického signálu byl využit osmikanálový elektromyografický systém Noraxon MyoSystem 1400A a Noraxon TeleMyo 2400 G2. Údaje byly současně synchronizovány se silovou plošinou PS-2142 (Pasco, Roseville, USA) o velikosti 40x 60 cm. Před každým měřením proběhla kalibrace silové plošiny a až následně byla propojena s EMG přístrojem. Odpor

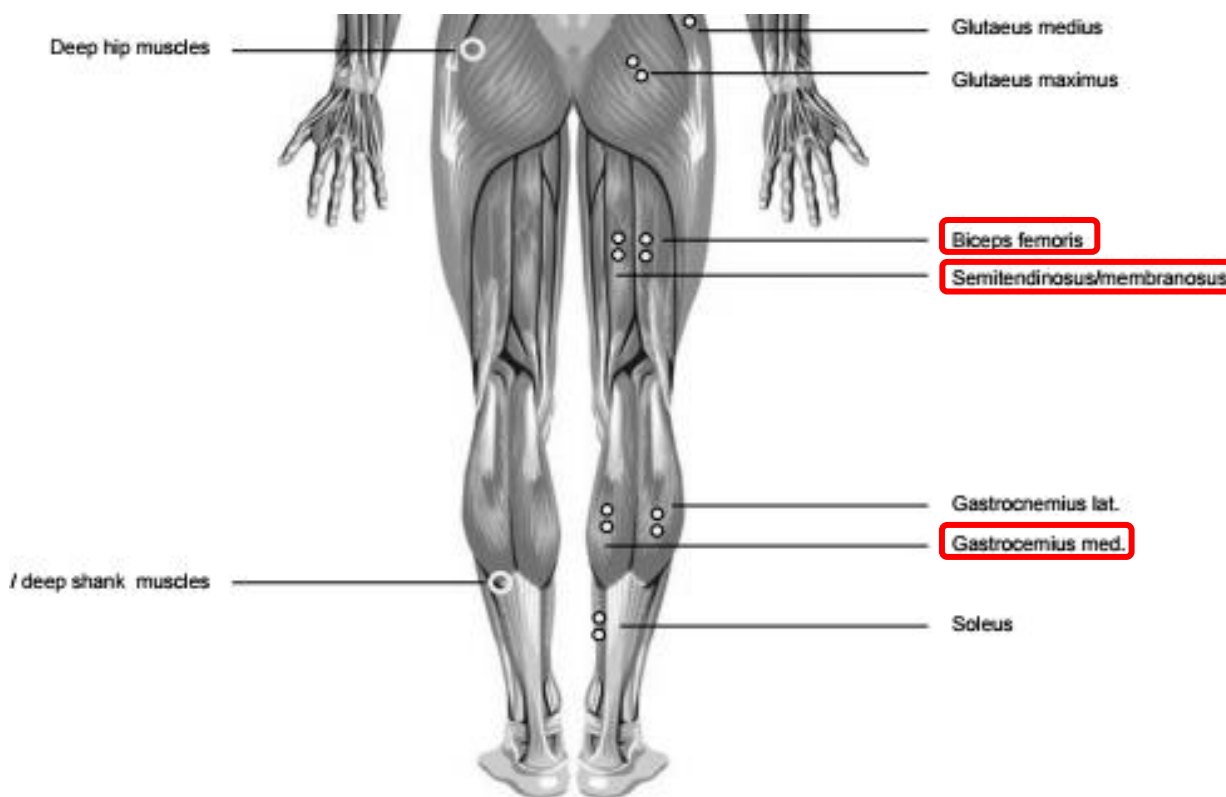
elektromyografického přístroje Noraxon byl menší než 10 MΩ. Ke snímání svalové aktivity byly využity povrchové jednorázové, samolepící elektrody Arbo silver – silver chlorid s pevným hydrogelem o průměru 24 mm od firmy Kendall. Povrchový signál byl zaznamenán a zpracován v programu MyoResearch XP Master Version 1.03.05.

4.2.2 Příprava kůže před umístěním elektrod

Pro snížení kožního odporu, zabezpečení lepší přilnavosti elektrody a zvýšení kontaktu mezi elektrodou a kůží bylo vždy před měřením místo pro nalepení elektrody a jeho okolí očištěno vodou a následně řádně vysušeno do sucha. Teprve až poté se lepily elektrody.

4.2.3 Umístění elektrod

Jednorázové povrchové elektrody byly nalepeny na střed svalového břicha paralelně se svalovými vlákny m. gastrocnemius medialis (GM), m. biceps femoris (BF) a m. semitendinosus (ST) – viz. Obr. 8.



Obr. 8.: Lokalizace umístění elektrod, dorzální strana (Kondrad, 2005, 21).

Vzdálenost mezi dvěma bipolárními elektrodami na svalovém břišku byla 1 cm. Střed svalového břiška byl označen palpačně při izometrické kontrakci jednotlivých svalů. Referenční elektroda byla umístěna na místo elektricky inaktivní, konkrétně na tuberositas tibiae, dominantní dolní končetiny. Poté byly na elektrody připevněny příslušné svody a proběhla kontrola, zdali elektromyografický záznam neobsahuje viditelné artefakty.

4.3 Průběh měření

Měření dat probíhalo v období na konci sezóny 2016/2017, konkrétně v červnu 2017, a na začátku sezóny 2017/2018 v září a říjnu 2017. Snímání elektromyografického záznamu za současné synchronizace se silovou plošinou probíhalo ve sportovních halách Univerzity Palackého a v laboratořích Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého.

Proband po převlečení do sportovního oblečení a přezutí do sportovní obuvi podstoupil rozběhání a dynamickou rozcvičku. Následně mu byly nalepeny elektrody pro snímání EMG záznamu a připojeny příslušné svody. Po kalibraci silové plošiny a kontrole uchycení elektrod, kabelů a křivky signálu polyEMG, se přistoupilo k instruktáži, nácviku výskoku nanečisto a k samotnému měření. Součástí měření byly i další disciplíny, které musel proband po rozcvičení podstoupit.

4.3.1 Testování

Vlastní test squat jump obsahoval maximální vertikální výskok z výchozí polohy flexe 90° v kolenních kloubech a patami na silové plošině. Ruce testovaného spočívaly na bocích po celou dobu průběhu testu. Důraz byl kladen na správné zaujetí výchozí polohy a neméně na iniciaci a začátek pohybu. Proband měl vyrazit vertikálním směrem vzhůru, tedy z výchozích 90° v kolenních kloubech pouze zvětšovat úhel, nikoliv na počátku pohybu zapružit a zmenšit úhel v kolenních kloubech pod 90°.

Squat jump probíhal třikrát za sebou. První skok byl označován pouze jako zkušební, druhý skok byl využit k analýze, a v případě nevydařeného druhého skoku, byl analyzován skok třetí.

4.4 Metodika vyhodnocování výsledků

4.4.1 Analýza elektromyografického záznamu

Při analýze EMG záznamu byly zaznamenané hodnoty pro každý sval rozděleny na klidovou fázi a fázi svalové aktivity, ve které byl označen maximální peak vzletové fáze výskoku. Následně z daného úseku byly určeny hodnoty mean amplitude, mean frequency a času, za který bylo dosaženo maximálních hodnot u jednotlivých svalů. K analýze se využíval druhý pokus, v případě nevydařeného druhého pokusu, byl analyzován pokus třetí. EMG signál byl upravený plnou retifikací a vyhlazením.

4.4.2 Statistické zpracování dat

Naměřená a zanalyzovaná data byla přepsána do tabulek programu Microsoft Excel a další statistické zpracování probíhalo v softwaru STATISTIKA, verze 12. Byly zpracovány základní statistické veličiny jako průměr, medián, maximální hodnota, minimální hodnota a směrodatná odchylka. Následně pro porovnání jednotlivých skupin byl použit Mann-Whitneyho a Wilcoxonův test. Hladina statistické významnosti byla stanovena na $p < 0,05$.

5 VÝSLEDKY

5.1 Výzkumná otázka 1 (VO1)

VO1: Je rozdíl ve svalové aktivitě mezi koncem sezóny 2016/17 a začátkem sezóny 2017/18 u sledovaných hráčů kategorie U13?

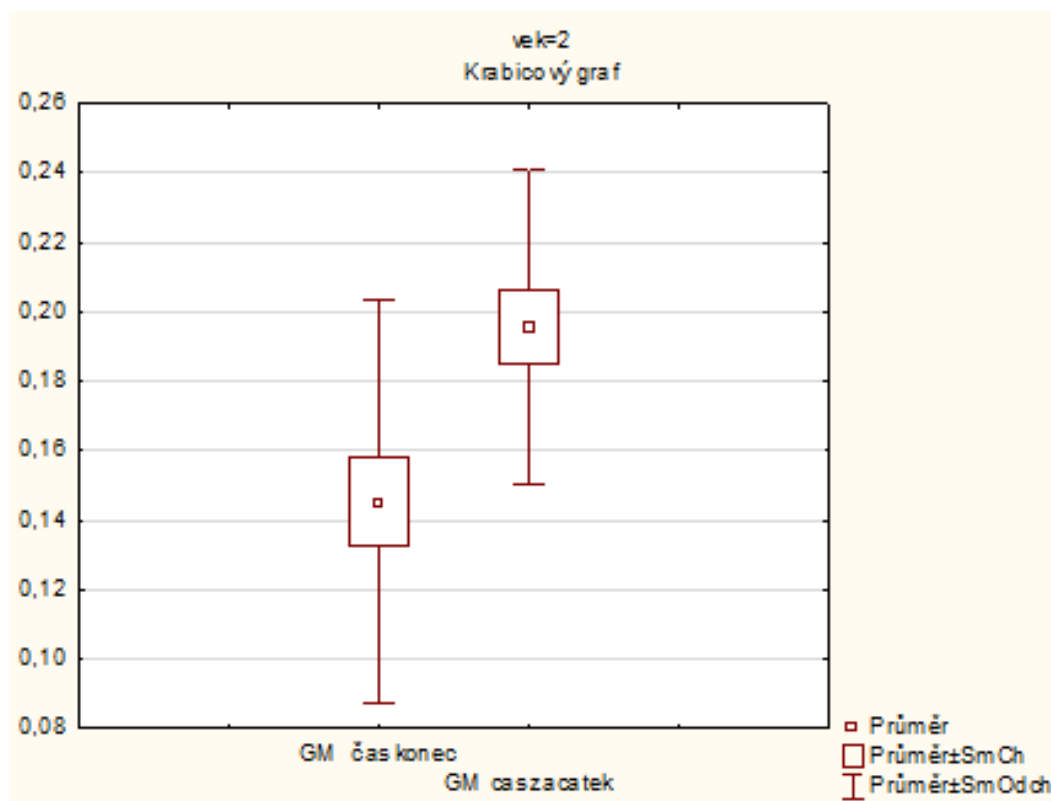
Tabulka 2. Porovnání parametrů aktivity svalů pomocí Wilcoxonova párového testu u sledovaných hráčů U13 na konci sezóny 2016/17 a na začátku sezóny 2017/18.

Dvojice proměnných – věk 2 (13 let)	T	Z	p-hodnota
GM cas konec & GM cas zacatek	10,000000	2,668000	0,007631
GM mean konec & GM mean zacatek	45,000000	0,470824	0,637767
GM freq konec & GM freq zacatek	6,000000	2,919106	0,003511
BF cas konec & BF cas zacatek	34,000000	1,161365	0,245494
BF mean konec & BF mean zacatek	48,000000	0,282494	0,777565
BF freq konec & BF freq zacatek	7,000000	2,856330	0,004286
ST cas konec & ST cas zacatek	8,000000	2,793553	0,052111
ST mean konec & ST mean zacatek	36,000000	1,035812	0,300291
ST freq konec & ST freq zacatek	0,000000	3,295765	0,000982

Vysvětlivky: GM = m. gastrocnemius medialis, BF = m. biceps femoris, ST = m. semitendinosus, cas = doba potřebná k dosažení nejvyššího peaku, mean = mean amplitude – maximální hodnota - peak, freq = mean frekvence – podíl maximálních a klidových hodnot, konec = měření na konci sezóny 2016/2017, zacatek = měření na začátku sezóny 2017/2018, p = hladina statistické významnosti

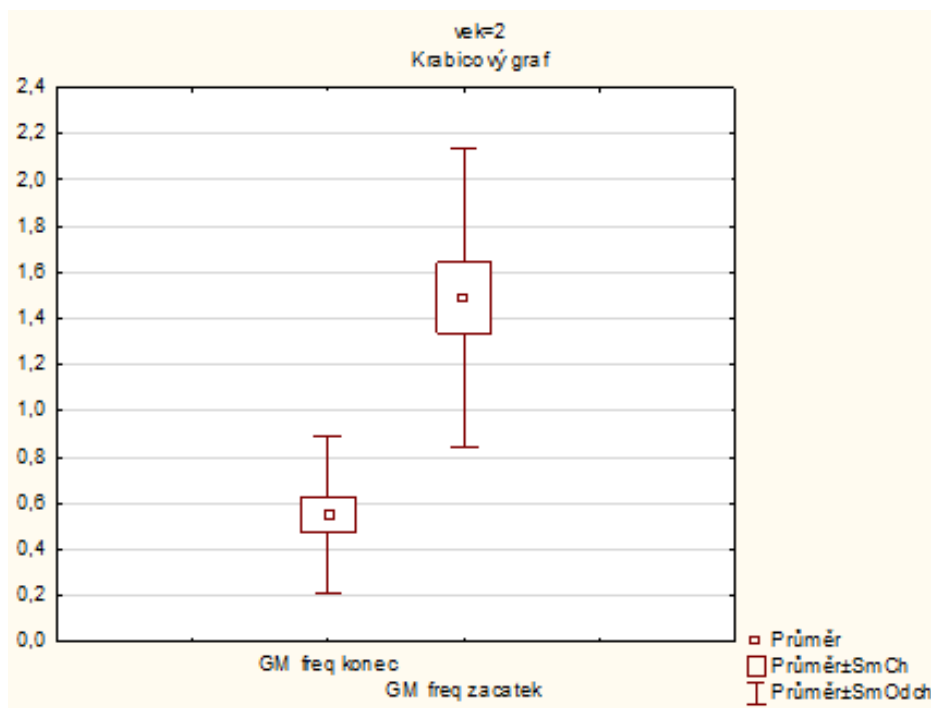
Při porovnání aktivity jednotlivých svalů pomocí hodnot čas - doby potřebné k dosažení nejvyššího peaku, mean amplitude – maximálního peaku a mean frekvence – podílu maximálních a klidových hodnot na konci sezóny 2016/17 a na začátku sezóny 2017/18 Wilcoxonovým párovým testem byl prokázán statisticky významný rozdíl v parametrech mean frekvence u všech naměřených svalů a v parametru čas u svalu m. gastrocnemius medialis.

Hodnota čas, tedy doba potřebná k dosažení maximálního peaku, svalu m. gastrocnemius medialis u naměřených hráčů kategorie U13 měla průměrnou hodnotu při měření na konci sezóny 0,14531, při měření na začátku následující sezóny se průměrná hodnota probandů zvýšila na 0,19572, což značí lepší výbušnou sílu a intramuskulární koordinaci na konci sezóny.

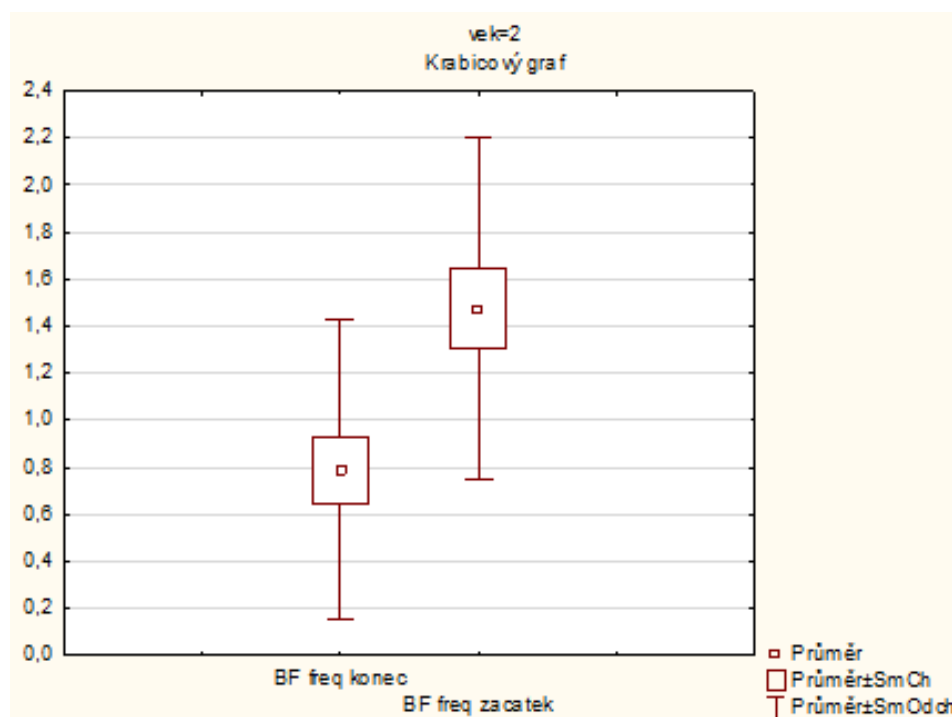


Graf 3. Krabicový graf vyobrazující rozložení hodnot cas u svalu m. gastrocnemius medialis hráčů kategorie U13 na konci sezóny 2016/17 a na začátku sezóny 2017/18.

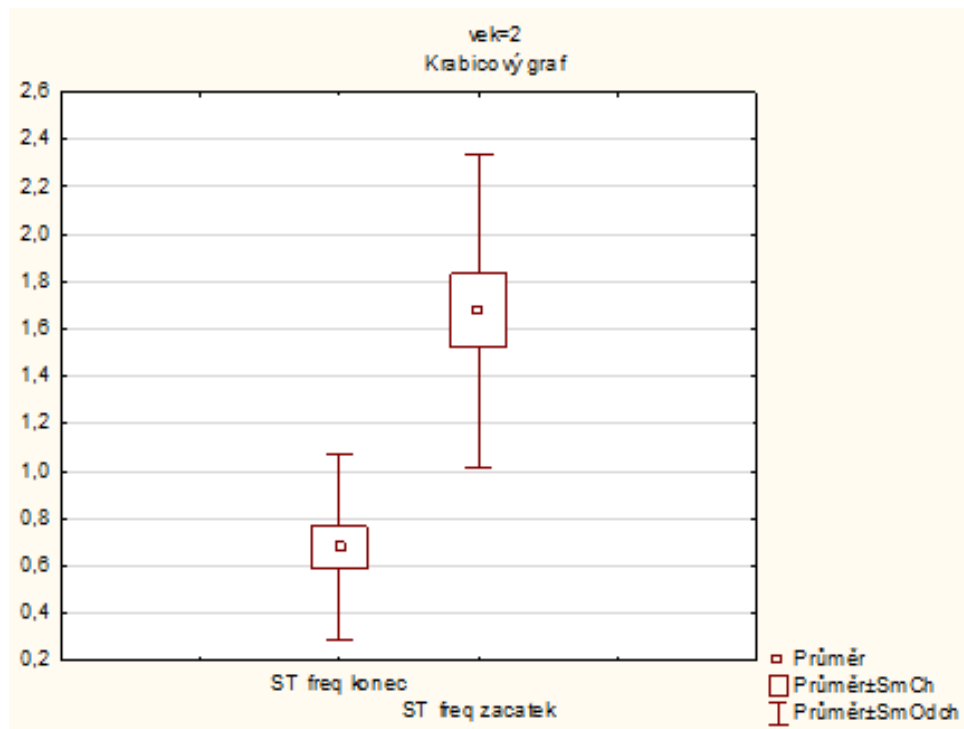
Dále byly zaznamenány statisticky významné rozdíly v hodnotách mean frekvence mezi měřeními na konci a na začátku následující sezóny u všech měřených svalů. Průměrné hodnoty mean frekvence u svalu m. gastrocnemius medialis na konci sezóny byly 0,55233, na začátku následující sezóny stouply na hodnotu 1,48961. U svalu m. biceps femoris se průměrné hodnoty zvětšily z hodnoty 0,78963 na 1,47438 a u svalu m. semitendinosus vzrostly z hodnoty 0,67839 na konci sezóny na hodnotu 1,67734. Nižší hodnoty parametru mean frekvence na konci sezóny značí únavu měřených svalů.



Graf 4. Krabicový graf vyobrazující rozložení hodnot mean frekvence u svalu m. gastrocnemius medialis hráčů kategorie U13 na konci sezóny 2016/17 a na začátku sezóny 2017/18.



Graf 5. Krabicový graf vyobrazující rozložení hodnot mean frekvence u svalu m. biceps femoris hráčů kategorie U13 na konci sezóny 2016/17 a na začátku sezóny 2017/18.



Graf 6. Krabicový graf vyobrazující rozložení hodnot mean frekvence u svalu m. semitendinosus hráčů kategorie U13 na konci sezóny 2016/17 a na začátku sezóny 2017/18.

Na základě zpracování výsledků a porovnání hodnot na konci a na začátku následující sezóny párovým Wilcoxonovým testem usuzujeme, že nižší hodnoty mean frekvence u všech naměřených svalů na konci sezóny 2016/17 jsou projevem únavy. U svalu m. gastrocnemius medialis na konci sezóny se zkrátila doba potřebná k dosažení nejvyššího peaku oproti měření na začátku následující sezóny. Z toho vyvozujeme lepší výbušnou sílu a intramuskulární koordinaci po probíhajících trénincích na konci sezóny.

U sledovaných hráčů kategorie U13 je rozdíl ve svalové aktivitě mezi koncem sezóny 2016/17 a začátkem sezóny 2017/18.

5.2 Výzkumná otázka 2 (VO2)

VO2: Je rozdíl ve svalové aktivitě mezi koncem sezóny 2016/17 a začátkem sezóny 2017/18 u sledovaných hráčů kategorie U15?

Tabulka 3. Výsledky Wilcoxonova párového testu sledovaných hráčů U15 na konci sezóny 2016/17 a na začátku sezóny 2017/18.

Dvojice proměnných - věk 1 (15 let)	T	Z	p-hodnota
GM cas konec & GM cas zacatek	64,000000	2,437348	0,014796
GM mean konec & GM mean zacatek	31,000000	1,913224	0,055720
GM freq konec & GM freq zacatek	26,000000	2,171768	0,029874
BF cas konec & BF cas zacatek	58,000000	0,517088	0,605095
BF mean konec & BF mean zacatek	16,000000	2,688856	0,035010
BF freq konec & BF freq zacatek	33,000000	1,809807	0,070327
ST cas konec & ST cas zacatek	45,000000	1,189302	0,234322
ST mean konec & ST mean zacatek	4,000000	3,309361	0,000935
ST freq konec & ST freq zacatek	30,000000	1,964933	0,049423

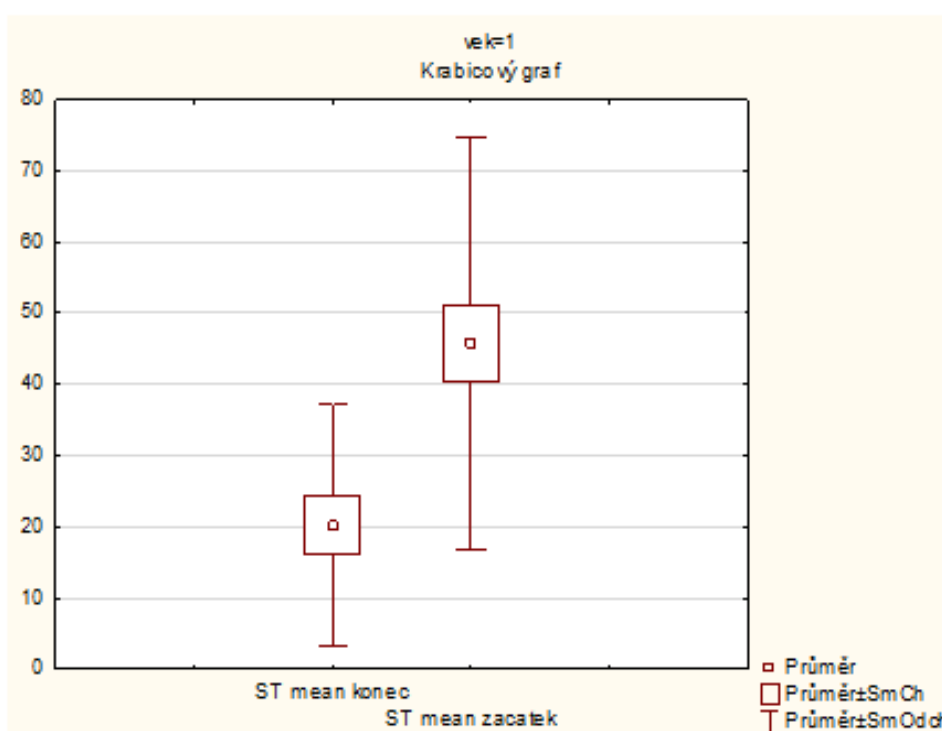
Vysvětlivky: GM = m. gastrocnemius medialis, BF = m. biceps femoris, ST = m. semitendinosus, cas = doba potřebná k dosažení nejvyššího peaku, mean = mean amplitude – maximální hodnota - peak, freq = mean frekvence – podíl maximálních a klidových hodnot, konec = měření na konci sezóny 2016/2017, zacatek = měření na začátku sezóny 2017/2018, p = hladina statistické významnosti

Při porovnání aktivity jednotlivých svalů pomocí hodnot čas - doby potřebné k dosažení nejvyššího peaku, mean amplitude – maximálního peaku a mean frekvence – podílu maximálních a klidových hodnot na konci sezóny 2016/17 a na začátku sezóny 2017/18 Wilcoxonovým párovým testem byl prokázán statisticky významný rozdíl v parametrech čas u m. gastrocnemius medialis, mean u m. biceps femoris a m. semitendinosus a v parametru mean frekvence u svalů m. gastrocnemius medialis a m. semitendinosus.

Hodnota čas, tedy doba potřebná k dosažení nejvyššího peaku, svalu gastrocnemius medialis u naměřených hráčů kategorie U15 měla průměrnou hodnotu při měření na konci sezóny 0,14063, na začátku následující sezóny se průměrná

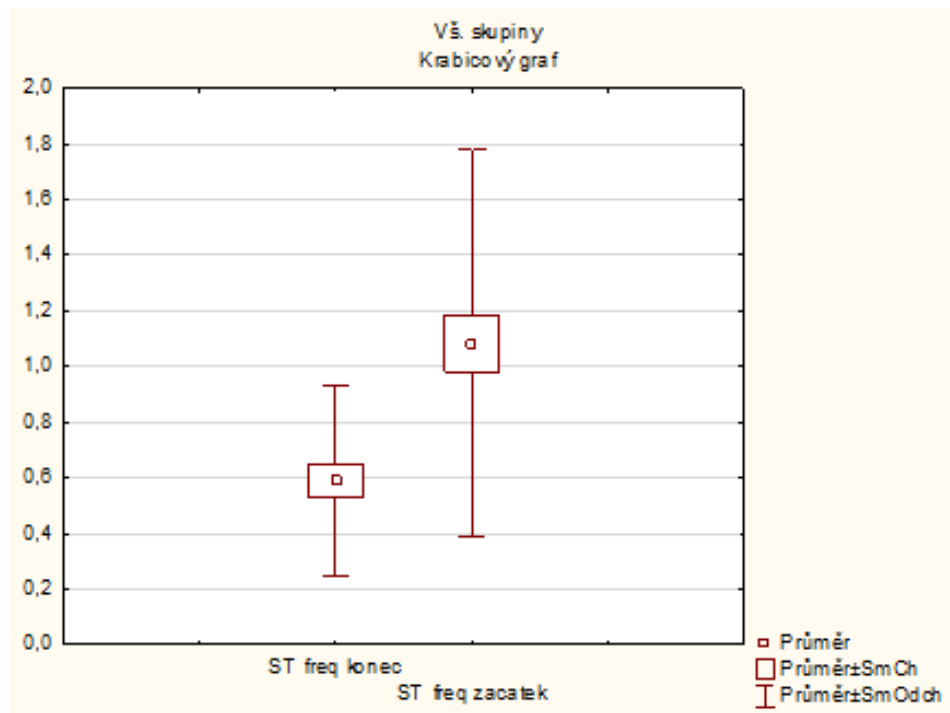
hodnota zvýšila na 0,16009, což poukazuje na pokles výkonnosti svalu na začátku soutěžní sezóny.

Statisticky významné rozdíly byly zaznamenány také u hodnot mean amplitude (mean) – maximální hodnoty peaku, u svalu m. biceps femoris a m. semitendinosus. U m. biceps femoris byly průměrné hodnoty při měření na konci sezóny 16,22 a na začátku následující byly 38,80. U svalu m. semitendinosus vzrostly hodnoty z 20,17 na hodnotu 45,71 a právě u tohoto svalu je vysoká hladina statistické významnosti, a to 0,000935. Vyšší hodnoty parametru mean amplitude na začátku sezóny značí vyšší míru svalové aktivity těchto svalů.



Graf 7. Krabicový graf vyobrazující rozložení hodnot mean amplitude u svalu m. semitendinosus hráčů kategorie U15 na konci sezóny 2016/17 a na začátku sezóny 2017/18.

U hodnot mean frekvence (freq) byly vyhodnoceny statisticky významné rozdíly svalů m. gastrocnemius medialis a m. semitendinosus. U m. gastrocnemius medialis byly průměrné hodnoty při měření na konci sezóny 0,41378 a na začátku následující sezóny byly 0,57194. U svalu m. semitendinosus vzrostly z hodnoty 0,48403 na 0,71421. Hodnoty poukazují na únavu na konci sezóny.



Graf 8. Krabicový graf vyobrazující rozložení hodnot mean frekvence m. semitendinosus hráčů kategorie U15 na konci sezóny 2016/17 a na začátku sezóny 2017/18.

Na základě zpracování výsledků a porovnání hodnot na konci a na začátku následující sezóny párovým Wilcoxonovým testem se můžeme vyvozovat, že zvýšení maximální hodnoty dosaženého peaku (mean) u m. biceps femoris a m. semitendinosus na začátku soutěžní sezóny značí pokles výkonnosti svalu. Hodnoty mean frekvence (freq) m. semitendinosus a m. gastrocnemius medialis na konci sezóny dosahovaly nižších hodnot než na začátku následující sezóny. Na konci sezóny tedy tyto svaly vykazují známky únavy. Stejně jako u předchozí kategorie U13 se u svalu m. gastrocnemius medialis na konci sezóny zkrátila doba potřebná k dosažení nejvyššího peaku, což značí lepší výbušnou sílu a intramuskulární koordinaci na konci sezóny.

U sledovaných hráčů kategorie U15 je rozdíl ve svalové aktivitě mezi koncem sezóny 2016/17 a začátkem sezóny 2017/18.

5.3 Výzkumná otázka 3 (VO3)

VO3: Je rozdíl ve svalové aktivitě na konci sezóny 2016/2017 mezi hráči mužského pohlaví mládežnických kategorií U13 a U15?

Tabulka 4. Výsledky Mann-Whitneyova párového testu u sledovaných hráčů U13 a U15 na konci sezóny 2016/2017.

Proměnná	p-hodnota
GM cas konec	0,714579
GM mean konec	0,748969
GM freq konec	0,437076
BF cas konec	0,819203
BF mean konec	0,572885
BF freq konec	0,293064
ST cas konec	0,552323
ST mean konec	0,636656
ST freq konec	0,116528

Vysvětlivky: GM = m. gastrocnemius medialis, BF = m. biceps femoris, ST = m. semitendinosus; cas = doba potřebná k dosažení nejvyššího peaku, mean = mean amplitude – maximální hodnota, peak; freq = frekvenční analýza – podíl maximálních a klidových hodnot; konec = měření na konci sezóny 2016/2017; p = hladina statistické významnosti

Při porovnání aktivity mezi kategoriemi U13 a U15 jednotlivých svalů pomocí hodnot čas, mean amplitude a mean frekvence na konci sezóny 2016/17 Mann-Whitneyho párovým testem nebyl prokázán statisticky významný rozdíl v žádném parametru.

Není rozdíl ve svalové aktivitě na konci sezóny 2016/2017 mezi hráči mužského pohlaví mládežnických kategorií U13 a U15.

5.4 Výzkumná otázka 4 (VO4)

VO4: Je rozdíl ve svalové aktivitě na začátku sezóny 2017/2018 mezi hráči mužského pohlaví mládežnických kategorií U13 a U15?

Tabulka 5. Výsledky Wilcoxonova párového testu u sledovaných hráčů U13 a U15 na začátku sezóny 2017/2018.

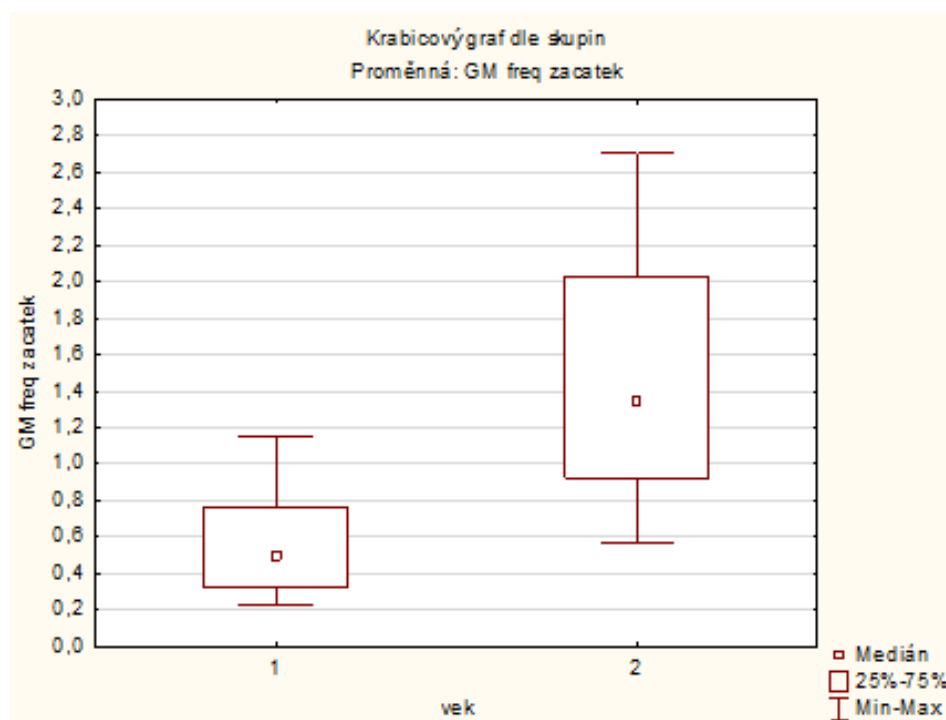
Proměnná	p-hodnota
GM cas zacatek	0,01656
GM mean zacatek	0,003736
GM freq zacatek	0,000001
BF cas zacatek	0,246101
BF mean zacatek	0,259724
BF freq zacatek	0,00016
ST cas zacatek	0,054127
ST mean zacatek	0,288512
ST freq zacatek	0,000001

Vysvětlivky: GM = m. gastrocnemius medialis, BF = m. biceps femoris, ST = m. semitendinosus; cas = doba potřebná k dosažení nejvyššího peaku, mean = mean amplitude – maximální hodnota, peak; freq = frekvenční analýza – podíl maximálních a klidových hodnot; zacatek = měření na začátku sezóny 2017/2018; p = hladina statistické významnosti

Při porovnání aktivity mezi kategoriemi U13 a U15 jednotlivých svalů pomocí parametrů čas, mean amplitude a mean frekvence na začátku sezóny 2017/18 Mann-Whitneyho párovým testem byl prokázán statisticky významný rozdíl v parametru mean frekvence (freq) u všech hodnocených svalů, a dále v parametru čas a mean u m. gastrocnemius medialis.

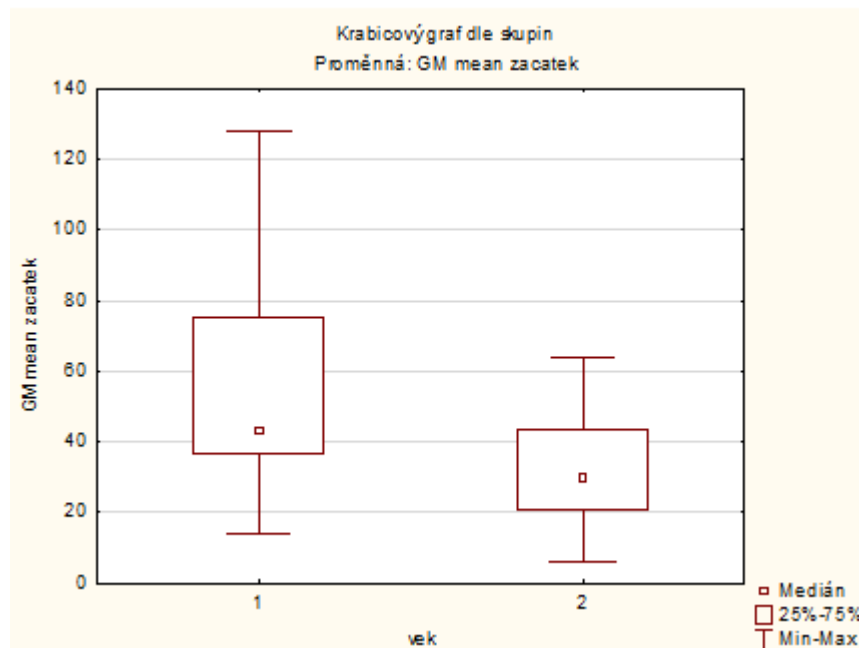
U hodnot mean frekvence (freq) byly vyhodnoceny statisticky významné rozdíly mezi kategoriemi U13 a U15 na začátku sezóny 2017/18 u všech měřených svalů. Průměrné hodnoty mean frekvence u svalu m. gastrocnemius medialis u kategorie U13 byly 1,48961, a u kategorie U15 byly 0,5709. U svalu m. biceps femoris byly průměrné hodnoty mezi U13: 1,47438 a mezi U15: 0,72952. Taktéž u svalu m. semitendinosus byl výrazný rozdíl v průměrných hodnotách mezi kategoriemi U13, kde byly 1,67734

a U15, kde nabyly hodnotu 0,71421. Nižší hodnoty mean frekvence hráčů U15 na začátku sezóny poukazují na vyšší únavu všech měřených svalů oproti věkové kategorii U13.



Graf 9. Krabicový graf vyobrazující rozložení hodnot mean frekvence u svalu m. gastrocnemius medialis hráčů kategorie U15 (věk 1) a U13 (věk 2) na začátku sezóny 2017/18.

Dále hodnota mean amplitude (mean) - maximální hodnoty peaku, m. gastrocnemius medialis dosahovala statisticky významných rozdílů mezi jednotlivými skupinami. Průměrná hodnota u kategorie U15 byla 32,01 a u kategorie U13 byla 53,35. To odráží vyšší míru svalové aktivity svalu gastrocnemius medialis u hráčů U13. U m. gastrocnemius medialis taktéž hodnota čas – doba potřebná k dosažení maximálního peaku, nabyla významného statistického rozdílu. Průměrná hodnota u U13 byla 0,1957 a u U15 byla 0,1601. Vyvozujeme z nich lepší intramuskulární koordinaci a výbušnou sílu skupiny U15.



Graf 10. Krabicový graf vyobrazující rozložení hodnot mean amplitude u svalu m. gastrocnemius medialis hráčů kategorie U15 (věk 1) a U13 (věk 2) na začátku sezóny 2017/18.

Na základě zpracování výsledků a porovnání hodnot mezi kategoriemi U13 a U15 na začátku sezóny 2017/2018 párovým Mann-Whitneyho testem vyvozujeme, že nižší hodnoty mean frekvence u věkové kategorie U15 značí vyšší svalovou únavu této skupiny. Parametry nejvyššího peaku (mean) a doby potřebné k dosažení nejvyššího peaku m. gastrocnemius medialis odráží nižší míru svalové aktivity potřebné k maximálnímu výskoku a lepší výbušnou sílu hráčů kategorie U15 na začátku sezóny.

Je rozdíl ve svalové aktivitě na začátku sezóny 2017/2018 mezi hráči mužského pohlaví mládežnických kategorií U13 a U15.

6 DISKUZE

Úkolem této diplomové práce bylo zhodnotit rozdíly ve svalové aktivitě vybraných svalů dominantní dolní končetiny v průběhu odrazové fáze maximálního skoku (squat jumpu) prostřednictvím povrchové elektromyografie u fotbalistů žákovských kategorií na konci sezóny 2016/2017 a začátku následující sezóny 2017/2018 a porovnat naměřené hodnoty mezi věkovými kategoriemi 13-ti letých a 15-ti letých fotbalistů, tedy v období největšího růstu a zrání.

Fotbal je komplexní kontaktní sport, který klade vysoké nároky na výbušnou sílu, koordinaci a kondici. Dochází při něm k rychlým specifickým pohybům, jako jsou sprinty, výskoky, kopy do míče, časté změny směrů a podobně (Requena et al., 2009). Právě specifičnost pohybů, jejich dynamizace a zrychlení hry kladou vysoké nároky na flexory a extenzory kolenního kloubu. Při vzniku svalových dysbalancí a asymetrií u těchto svalů dochází často ke zranění hamstringů a měkkých struktur kolenního kloubu. Ke stanovení připravenosti pro zapojení se do soutěžního běhu, či posouzení rizika zranění měkkých struktur kolenního kloubu a okolních tkání se často hodnotí poměr zapojení síly hamstringů a m. quadriceps femoris (Alertorn-Geli et al., 2015; Cheung, Smith, & Wong, 2012; Lehnert, Chvojka, & Psotta, 2015; Neophytou, Charalambous, Aginsky, 2014). Mnoho studií se zabývá analýzou právě těchto antagonistických svalů ve smyslu prevence poranění předního zkříženého vazů (De Ste Croix, Priestley, Lloyd, & Oliver, 2015; Kim & Hong, 2011), kdy jejich dostatečná síla, správný timing a odolnost vůči únavě působí jako ochranný mechanismus před vznikem zranění. Dalším svalem zvyšující stabilizační funkci kolenního kloubu je označována mediální a laterální hlava mm. gastrocnemii, a to právě pro jejich funkci zvýšení tlaku do kloubu (Kvist & Gillquist, 2001). Dle DeMonta & Lepharta (2004) dochází ke zvýšení aktivace mm. gastrocnemii při únavě. Při uzavřeném kinematickém řetězci právě mm. gastrocnemii stojí za vznikem mechanické energie celé dolní končetiny a může hrát důležitou roli při vzniku poranění jak hlezenního, tak i kolenního kloubu i vyšších etáží (Kvist & Gillquist, 2001).

Výskok je vysoce koordinačně náročný pohybový vzor, který se často používá k hodnocení výbušné síly dolních končetin a hodnocení progresu v rámci tréninkových

jednotek, zdali dochází k ovlivnění neuromuskulárního řízení pohybového aparátu (Čoh, Živkovič & Žvan, 2016). V dnešním fotbale hraje důležitou roli schopnost hráče vyvinout svalovou sílu dolních končetin v co nejkratším časovém úseku, což upřednostňuje sílu explozivní, před silou maximální (Papaevangelou, Mataxas, Riganas, Mandroukas, & Vamvakoulis, 2012).

Čoh, Živkovič, & Žvan (2016) se jako jediní autoři zabývali problematikou squat jumpu z pohledu hodnocení svalové aktivity více svalů, než pouze poměru zapojení flexorů a extenzorů kolenního kloubu. Do výskoku se zapojují všechny klouby dolních končetin a mnohé dvoukloubové svaly, čímž je tato problematika komplikovaná. Autoři Umberger (1998) a Čoh, Živkovič, & Žvan (2016) se shodují na proximo-distálním náboru svalů, tedy od kyčle k hleznu. Odrazovou fází zahajují erektory páteře, společně s aktivitou m. gluteus maximus, postupně se připojuje aktivita extenzorů kyčelního kloubu, hned poté se přidává m. vastus medialis et lateralis. Celou odrazovou fází dokončuje m. gastrocnemius medialis, který se v největší míře podílí na výrobě mechanické energie v celém kinetickém řetězci dolní končetiny. Největší peak autoři zaznamenali právě u svalů m. gastrocnemius medialis a m. gluteus maximus (Čoh, Živkovič, & Žvan, 2016). Také Umberger (1998) popisuje největší impulz síly během odrazu u svalu gastrocnemius medialis, který musí svou mechanickou energii rozdělit do dvou zainteresovaných kloubů.

Důležitou stabilizační roli kolenního kloubu hrají svaly lýtky a hlezna při zvýšené únavě dolních končetin. Zejména při únavě fázického svalu m. quadriceps femoris nahrazuje jeho synergistickou kompenzační dynamickou stabilizační funkci právě m. gastrocnemius (Nyland et al., 1997). Také Shultz et al. (2000) pozorovali zvýšené pálení m. gastrocnemius při náběhu kolenního kloubu do stresového rotačního postavení tibiofemorálního kloubu (Hewett, Zazulak, Myer, & Ford, 2005).

Pro hodnocení zapojení svalových jednotek, kontrakční aktivity kosterních svalů a rozboru jejich timingu se využívá polyelektromyografického záznamu (Konrad, 2006; Krobot & Kolářová, 2011). K hodnocení a popisu polyEMG signálu se využívá několika parametrů. Pro stanovení odchylek ve svalové aktivitě, a rozpoznání únavy, se nejčastěji popisuje snížení frekvenčního spektra a zvýšení amplitudy elektromyografického signálu (Croce, Miller, & Horvat, 2008; Konrad,

2006). V našem výzkumu se hodnotil ještě parametr čas, údaj o době potřebné k dosažení nejvyššího peaku během odrazové fáze výskoku.

První výzkumná otázka řeší problematiku rozdílnosti svalové aktivace na konci sezóny 2016/17 a na začátku sezóny 2017/18 u hráčů věkové kategorie U13. V porovnání výsledků na konci sezóny a před sezónou byly prokázány statisticky vysoce významné rozdíly v parametru mean frekvence u všech hodnocených svalů (m. gastrocnemius medialis, m. biceps femoris a m. semitendinosus) a statisticky významný rozdíl v parametru čas u m. gastrocnemius medialis. Z toho usuzujeme, že u třináctiletých hráčů za snížením frekvenčního spektra stojí únava, která se dostavila na konci sezóny. Vyšší hodnoty mean frekvence na začátku následující sezóny popisují ústup únavy v období po proběhlém zotavení po letní prázdninové pauze. Otázkou zůstává, z jakého důvodu se tak výrazně zvýšily hodnoty parametru čas, tedy doby potřebné k dosažení nejvyššího peaku, pouze u svalu m. gastrocnemius medialis. Z ostatních průměrných hodnot parametru čas, u kterých došlo taktéž ke zvýšení, ale s ne až tak výrazným rozdílem, můžeme usuzovat, že m. gastrocnemius medialis jakožto sval udělující výskoku největší mechanickou energii ze všech měřených svalů (Umberger, 1998), reaguje nejcitlivěji na únavu dolních končetin a může hrát svou roli v prevenci zranění. Nižší hodnoty parametru čas značí lepší intramuskulární koordinaci a výbušnou sílu svalů právě na konci sezóny.

Stejně výsledky statistického porovnání u svalu gastrocnemius medialis na konci a na začátku následující sezóny vyšly také u věkové kategorie pátáctiletých hráčů. Rozdíly u této věkové kategorie nebyly natolik významné, jako u předchozí věkové kategorie. Nicméně i přesto se můžeme domnívat, že i tyto hráče postihla únava na konci sezóny 2016/17. Podle hodnot maximálního peaku všech svalů a nejvíce m. semitendinosus, které na konci sezóny byly nižší, než na začátku sezóny následující usuzujeme, že na začátku sezóny byla zapotřebí větší svalová aktivace, zapojení více motorických jednotek, k provedení maximálního výskoku. Můžeme se tedy domnívat, že s ústupem únavy na začátku sezóny došlo i k ovlivnění výkonnosti hráčů. Hlavní pozornost u této věkové kategorie můžeme opět směřovat ke svalu gastrocnemius medialis, který nabyl nejrozdílnějších hodnot a můžeme z toho vyvozovat jeho zvýšenou reakci na únavu.

Výsledky porovnání svalové aktivity vybraných svalů mezi jednotlivými věkovými kategoriemi U13 a U15 byly rozděleny do dvou časových skupin. Na konci sezóny 2016/2017 nebyly zjištěny žádné statisticky významné hodnoty mezi kategoriemi a usuzujeme, že obě skupiny podléhají únavě o podobné intenzitě po proběhlém soutěžním cyklu.

Hodnoty charakterizující svalovou aktivitu na začátku sezóny 2017/2018 již naznačují statisticky významnější rozdíly mezi jednotlivými kategoriemi. U všech svalů hraje významnou roli parametr mean frekvence. Podle porovnání průměrných hodnot a jejich vývoje v časovém horizontu můžeme usuzovat, že věková kategorie U13 po letní pauze vykazuje známky lepší zotavenosti oproti věkové kategorii U15. Naznačují to i výsledky porovnání p-hodnot, které se pohybují v rozmezí 0,07 až 0,029 u kategorie U15 oproti kategorii U13, kde se hodnota p pohybuje v rozmezí 0,001 až 0,003, tedy na hladině statisticky vysoce významného rozdílu. Dále hodnoty nejvyššího peaku značí lepší výkonnost kategorie U15 na začátku sezóny a můžeme tedy předpokládat, že 15-ti letí hráči se věnovali přípravě a aktivnímu odpočinku i v době letní pauzy o vyšší intenzitě než hráči U13. Tomu nasvědčuje i prodloužení doby k dosažení nejvyššího peaku svalu gastrocnemius medialis u 13-ti letých hráčů na začátku sezóny.

Za rozdíly mezi jednotlivými věkovými kategoriemi může stát také vývoj a intenzivní růst odpovídající tomuto období. Bylo prokázáno, že v rozmezí 13-15 let vzrůstá rizikovitost zranění až osminásobně oproti věkovým kategoriím 9-12 let a 16 - 18 let (Rumpf & Cronin, 2012). Dochází k funkčním a strukturálním změnám v organismu, svalový systém se nestíhá adaptovat rychlému růstu kostí a následně sval v relaxovaném svalů zůstává v neustálém napětí. V důsledku změněné aferentace jsou ovlivněny koordinační a motorické schopnosti (Read, Oliver, De Ste Croix, Myer & Lloyd, 2015). S tělesným růstem dochází k posunu tělesného těžiště a ovlivnění rovnovážných schopností. Méně zralý posturální systém způsobuje inkoordinaci (Van Praagh, Fellmann, Bedu, Falgairrette, & Coudert, 1990), ta se projeví ve snížení dynamické stabilizace velkých kloubů během zátěže a nedostatečně rychlou reakcí svalového systému na stresové postavení kloubu (Russell et al., 2007). Diskutovaným tématem poslední doby je, zdali ve fyziologickém stavu dokáže svalový systém být dostatečně reaktivní, aby zastabilizoval jednotlivé

kloubní nastavení v tak krátkém časovém úseku (Myer et al., 2004; De Ste Croix & Deighan, 2012).

Únava, jakožto soubor biomechanických a neuromuskulárních faktorů působících jako ochranný mechanismus před vznikem zranění (Kittnar, et al., 2011; Padua et al., 2006) naopak za vznikem mnohých zranění ve fotbale stojí. Podílí se na tom snížení koordinace, snížení svalové funkce, zvýšení svalové tuhosti, ale také snížení mentální funkce, které nastupují s kumulací únavy (Søgaard, Gandevia, Todd, Petersen & Taylor, 2006). Ve fotbale se navíc často vyskytují excentrické kontrakce, které jsou spojeny s poškozováním svalové tkáně, vznikem rabdomyolýzy a následně se vznikem mikrotraumat (Byrne, Twist & Eston, 2004) a přeměnou svalové tkáně ve vazivo (Butterfield 2006; Raastad et al., 2010; Silva et al., 2013). S narůstajícím věkem dochází k dřívějšímu a rychlejšímu nástupu únavy (Dipla et al., 2009; Scherrer, 1995).

Ekstrand, Hägglund, & Waldén (2011) zaznamenali frekvenci osmi zraněných hráčů fotbalu na 1000 hodin hry. Dle Rumpfa & Cronina (2012) se vyšší incidence zranění objevuje u nižší úrovně soutěže, což může souviset s informovanností trenérů ohledně prevence. Naopak dle Ekstranda, Hägglunda, & Waldéna (2011) vyšší riziko zranění odpovídá vyšší úrovni hrané soutěže. To dávají za příčinu většímu objemu zatížení, vyšší frekvenci tréninkových jednotek, většímu počtu soutěžních i mimosoutěžních utkání a intenzivějšímu zatížení během tréninků. Tomu odpovídá i typické rozložení zranění v průběhu celé sezóny. Traumatické poranění je nejčastější v průběhu soutěžního období, zatímco zranění z přetížení muskuloskeletálního systému se nejčastěji vyskytuje během vyvrcholení předsezónní přípravy (Ekstrand, Hägglund, & Waldén, 2011).

Jelikož sledováním svalové aktivity a jejím kolísáním v dlouhodobém časovém intervalu u fotbalistů během růstu a zraní se prozatím nevěnovala žádná studie, nemáme výsledky této diplomové práce s čím srovnávat. Domníváme se, že sval gastrocnemius medialis hraje významnou roli při únavě, protože nejvýrazněji a nejcitlivěji reagoval na změny mezi koncem a začátkem následující sezóny u obou věkových kategorií. To potvrzují i autoři Nyland et al. (1997), Shultz et al. (2000), kteří uvádějí zvýšené pálení právě tohoto svalu při nastupující únavě. Dále byly vysledovány rozdíly v regeneraci, kdy u mladší věkové kategorie proběhlo lepší

popauzová zotavení oproti starší věkové kategorii. Tenhle teoretický poznatek se shoduje s informacemi autorů Dipla et al. (2009) a Scherrera (1995).

Na základě dvou měření nemůžeme vyvozovat konkrétní výsledky, ale pouze domněnky, které by v následujících měřeních mohly být potvrzeny, nebo vyvráceny.

7 ZÁVĚR

Výsledky této diplomové práce potvrzují rozdíly ve svalové aktivitě na konci a na začátku následující sezóny u fotbalistů věkové kategorie U13 a U15, a rozdíl mezi jednotlivými věkovými kategoriemi na začátku nové sezóny. Pro porovnání aktivity jednotlivých svalů byly využity parametry čas - doby potřebné k dosažení nejvyššího peaku, mean amplitude – hodnota maximálního peaku a mean frekvence – podíl maximálních a klidových hodnot.

U věkové kategorie U13 byl zaznamenán statisticky významný rozdíl u všech svalů v parametru mean frekvence, který značí únavu doprovázející závěr sezóny 2016/2017. Dále u m. gastrocnemius medialis byla na konci sezóny potřebná kratší doba k dosažení nejvyššího peaku oproti měření na začátku následující sezóny. To naznačuje lepší výbušnou sílu a intramuskulární koordinaci po probíhajících trénincích na konci sezóny.

U věkové kategorie U15 byl zaznamenán stejně jako u mladší kategorie významný statistický rozdíl u m. gastrocnemius medialis v parametru mean frekvence a v parametru čas. Rozdíl u mean frekvence byl zaznamenán i u m. semitendinosus, což potvrzuje také jeho únavu na konci sezóny. Navíc byly zaznamenány rozdíly v hodnotách mean amplitude - nejvyššího peaku, u m. biceps femoris a m. semitendinosus.

Při porovnání hodnot na konci a na začátku následující sezóny mezi jednotlivými věkovými kategoriemi, nebyly nalezeny statisticky významné rozdíly na konci sezóny mezi oběma skupinami. Usuzujeme, že obě skupiny doprovázela na konci sezóny únavu po posledních odehraných zápasech. Na začátku následující sezóny byly zaznamenány výrazné rozdíly mezi jednotlivými skupinami v parametru mean frekvence všech svalů. Z průměrných hodnot parametru mean na konci a na začátku sezóny vyvozujeme, že u kategorie U13 proběhla lepší zotavenost po období letní pauzy, oproti skupině U15.

8 SOUHRN

Diplomová práce hodnotí rozdíly ve svalové aktivitě vybraných svalů dominantní dolní končetiny v průběhu výskoku snožno u fotbalistů žákovských kategorií U13 a U15. Porovnává naměřené hodnoty na konci a na začátku následující sezóny mezi jednotlivými věkovými kategoriemi. Výzkumný soubor je složen z 18 probandů mužského pohlaví ve věku 13 let a 17 hráčů ve věku 15 let.

Teoretická část diplomové práce shrnuje poznatky o funkční kineziologii, neuromuskulární stabilizaci kolenního kloubu a jeho poranění. Popisuje nároky kladené na mladé fotbalisty a jejich tréninkový cyklus v průběhu celé sezóny. Obsahuje poznatky o vertikálním skoku, únavě a období růstu a zrání mládeže.

Výzkumná část diplomové práce popisuje metodiku, výzkumný soubor a výzkumné otázky studie. Svalová aktivity byla snímána pomocí povrchové elektromyografie ze svalu gastrocnemius medialis, m. biceps femoris a m. semitendinosus. Následně byly vyhodnoceny parametry mean frekvence, mean amplitude a čas.

Výsledky poukazují nejčastěji na rozdíl v parametru mean frekvence mezi koncem sezóny a začátkem následující sezóny u obou věkových kategorií. Při porovnání věkových kategorií byl zaznamenán rozdíl na začátku sezóny. Na základě vyhodnocených parametrů byla zaznamenán únava na konci sezóny u obou věkových skupin a lepší rekonvalescence hráčů U13 na začátku následující sezóny.

9 SUMMARY

This diploma thesis evaluates the differences in muscle activity of selected muscles of the dominant lower limb during the squat jump test of young football players in the age groups U13 and U15. The main focus of the thesis is the comparison of the measured values at the end and at the beginning of the following season between each age category. The studied group consists of 18 players from U13 category and 17 players from U15 category.

The theoretical part of the diploma thesis summarizes current knowledge about functional kinesiology, neuromuscular stabilization of the knee joint and knee-related injuries. Furthermore it describes the demands placed on young footballers and their training cycle throughout the season. It contains information about vertical jump, fatigue, growth and maturation of youth athletes.

The experimental part of the diploma thesis presents the methodology, research set and aims of the study. Muscle activity was recorded by surface electromyography of gastrocnemius medialis muscle, m. biceps femoris and m. semitendinosus. Subsequently, the parameters mean frequency, mean amplitude, and time were evaluated.

The results most frequently point to the difference in the mean frequency parameter between the end of the season and the beginning of the following season for both age categories. When comparing the age categories, difference was found at the beginning of the season. On the basis of the evaluated parameters, end-of-season fatigue was shown in both age groups and better recovery was observed in U13 players at the start of the following season.

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.
- Arabantzi, F., Papadopoulos, C., Prassas, S., Komsis G. & Gourgoulis, V. (2000). Electromyographic (EMG) Activity of Lower Extremity Musculature during Drop Jumping from Different Heights. In Y. Hong, & Johns, D. P. (Eds). *Proceedings of XVIII International Symposium on Biomechanics in Sports*. (pp. 129-132). Hong Kong: The Chinese University.
- Barrett, D. S., Cobb, A. G. & Bentley, G. (1991). Joint proprioception in normal, osteoarthritic and replaced knees. *J Bone Joint Surg Br.*, 73(1), 53-56.
- Bartoníček, J., Heřt, J. & Koutská, D. (2004). *Základy klinické anatomie pohybového aparátu*. Praha: Maxdorf.
- Bedřich, L. (2006). *Fotbal – rituální hra moderní doby*. Brno: Masarykova univerzita.
- Behm, D. G., Blazevich, A. J., Kay, A. D., & McHugh, M. (2016). Acute effects of muscle stretching on physical performance, range of motion, and injury incidence in healthy active individuals: a systematic review. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40(1), 1-16.
- Boyas, S., & Guével, A. (2011). Neuromuscular fatigue in healthy muscle: Underlying factors and adaptation mechanisms. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*. 54(2), 88-108.
- Brophy, R. H., Schmitz, L., Wright, R. W., Dunn, W. R., Parker, R. D., Andrich, 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.
- Bruhn, S., Gollhofer, A. & Gruber, M. (2001). Proprioception training for prevention and rehabilitation of knee joint injuries. *Eur. J. Sports Traumatol. Rel. Res.*, 23, 82-89.
- Butterfield, T. A., Best, T. M. & Merrick, M. A. (2006). The Dual Roles of Neutrophils and Macrophages in Inflammation: A Critical Balance Between Tissue Damage and Repair, *J Athl Train.* 41(4), 457–465.
- Byrne, C., Twist, C. & Eston, R. (2004). Neuromuscular function after exercise-induced muscle damage: theoretical and applied implications. *Sports medicine*, 34(1), 49–69.
- Croce, R., Miller, J.P. & Horvat, M. (2008). Alterations in torque and hamstrings agonist and antagonist activity over repeated maximum effort, reciprocal isokinetic flexion-extension movement. *Isokinetics and Exercise Science.* 16(2), 139-149.
- Čihák, R. (2011). Anatomie 1. Praha: Grada Publishing.
- De Ste Croix, M., B., A., Priestley, A., M., Lloyd, R. S. & Oliver, J., L. (2015). ACL injury risk in elite female youth soccer: Changes in neuromuscular control of the knee following soccer-specific fatigue. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25, 531-538.
- De Ste Croix, M., Deighan, M. & Armstrong, N. (2007). Functional Eccentric/Concentric Ratio of Knee Extensors and Flexors in Pre-Pubertal Children, Teenagers and Adult Males and Females. *International Journal of Sports Medicine*, 28, 768-772.
- 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.

- Doré, E., Bedu, M. & Van Praagh, E. (2008). Squat jump performance during growth in both sexes: Comparison with cycling power. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 79(4), 517-524.
- Dupalová, D. & Zaatari A. M. Z. (2015). Problematika použití povrchové elektromyografie – poznámky k vybraným aspektům aplikace v léčebné rehabilitaci. *Rehabilitace a Fyzikální Lékařství*, 22(1), 26-30.
- Ekstrand, J., Hagglund, M., Waldén, M. (2011). Injury incidence and injury patterns in professional football – the UEFA injury study. *British journal of sports medicine*, 45, 553-558.
- Eniseler, N., Sahan, C., Vurgun, H., & Mavi, H. F. (2012). Isokinetic Strength Responses to Season-long Training and Competition in Turkish Elite Soccer Players. *Journal of Human Kinetics*, 31, 159-168.
- Enoka, R. M. (2015). *Neuromechanics of human movement (fifth edition)*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Frisch, A., Urhausen, A., Seil, R., Croisier, J. L., Sundal, T., & Theisen, D. (2011). Association between preseason functional tests and injuries in youth football: A prospective follow-up. *Journal of Medicine & Science in Sports*, 21, 468- 476.
- Grasgruber, P., & Cacek, J. (2008). *Sportovní geny*. Brno: Computer Press, a.s.
- Gross, J., Fetto, J., & Rosen, E. (2005). *Vyšetření pohybového aparátu*. Praha: Triton.
- Hawkins, R. D., Hulse, M. A., Wilkinson, C., Hodson, A., & Gibson, M. (2001). The association football medical research programme: an audit of injuries in professional Football. *British Journal of Sports Medicine*, 35, 43-47.
- Hertel, J., Dorfman, J. H. & Braham, R. A. (2004). Lower extremity malalignments and anterior cruciate ligament injury history. *Journal of Sports Science Medicine*, 3, 220-225.

- Hewett, T. E., Zazulak, B. T., Myer, G. D., & Ford, K. R. (2005). A review of electromyographic activation levels, timing differences, and increased anterior cruciate ligament injury incidence in female athletes. *Br J Sports Med.*, *39*, 347–350.
- 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: A prospective study. *Am. J. Sports Med.*, *27*, 699-706.
- Hoff, J., & Helgerud J. (2004). Endurance and strength training for soccer players: physiological considerations. *Sports Medicine*, *34(3)*, 165-180.
- Hughes, G., & Watkins, J. (2006). A Risk-Factor Model for Anterior Cruciate Ligament Injury. *Sports Medicine*, *36(5)*, 411-428.
- Hughes, G., & Watkins, J. (2006). A Risk-Factor Model for Anterior Cruciate Ligament Injury. *International Journal of Sports Medicine*, *36(5)*, 411-428.
- Cheung, R., T., H., Smith, A., W., & Wong, D., P. (2012). H:Q ratios and bilateral leg strength in college field and court sports players. *Journal of Human Kinetics*, *33*, 63-71.
- Isaac, S. M., Barker, K. L., Danial, I. N., Beard, D. J., Dodd, C. A. & Murray, D. W. (2007). Does arthroplasty type influence knee joint proprioception? A longitudinal prospective study comparing total and unicompartmental arthroplasty. *The Knee*, *14(3)*, 212-217.
- Junge, A., Rosch, D., Peterson, L., Graf-Baumann, T., & Dvorak, J. (2002). Prevention of Soccer Injuries: A Prospective intervention Study in Youth Amateur Players, *The American Journal of Sports Medicine*, *30(5)*, 653-659.
- Kačáni, L., & Horský, L. (1988). *Tréning vo futbale*. Bratislava: Šport.
- Kapandji, I. A. (1987). *The physiology of joints, vol. 2: Lower limb*. London, Churchill Livingstone, 2nd edition.

- Kellis, E., & Baltzopoulos, V. (1999). The effects of fatigue on the resultant joint moment, agonist and antagonist electromyographic activity at different angles during dynamic knee extension efforts. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 9(3), 191-199.
- Kim, D., & Hong, J. (2011). Hamstring to quadriceps strength ratio and noncontact leg injuries: A prospective study during one season. *Isokinetics & Exercise Science*, 19(1), 1-6.
- Kittnar, O. et al. (2011). *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada.
- Knoop, J., Steultjens, M. P. M., Van der Leeden, M., Van der Esch, M., Thorstensson, C. A., Roorda, L. D., Lems, W. F. & Dekker, J. (2011). Proprioception in knee osteoarthritis: a narrative review. *Osteoarthritis and Cartilage*, 19(4), 381-388.
- Kollath, E. (2006). *Fotbal: technika a taktika*. Praha: Grada Publishing.
- Kondrad, P. (2005). *The ABC of EMG. A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography*. USA: Noraxon INC.
- Koudela J. R., K., Matějka, J., Nepraš, P. & Zeman, P. (2012). Anatomická rekonstrukce předního zkříženého vazů double bundle technikou – možnosti cílení femorálních kanálů. *Acta Chirurgiae Orthopaedicae et Traumatologiae Czechoslovaca*, 79, 41-47.
- Králíček, P. (2002). *Úvod do speciální neurofyziologie*. 2. vyd. Praha: Karolinum.
- Krobot, A. & Kolářová, B. (2011). *Povrchová elektromyografie v klinické rehabilitaci*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Kvist, J. & Gillquist, J (2001). Sagittal plane knee translation and electromyographic activity during closed and open kinetic chain exercises in anterior cruciate ligament-deficient patients and control subjects. *Am. J. Sports Med.*, 29, 72-82.
- Lee, D. J. (2010). Adrenal Fatigue Syndrome, Part 2: Adrenal Function and Overtraining. *Athletic Therapy Today*, 15(2), 28-31.

- Lehnert, M., Chvojka, P., & Psotta, R. (2015). Sezónní variabilita izokinetické síly flexorů a extenzorů kolene u fotbalistů kategorie U19. *Physical Culture, 38(1)*, 1-9.
- Lehnert, M., Novosad, J., Neuls, F., Langer, F. & Botek, M. (2010). *Trénink kondice ve sportu*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Máček, M., & Radvanský, J. (2011). *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Praha: Galén.
- Masuda, K., Masuda T., Sadovama, T., Inaki, M., & Katsuta, S. (1999). Changes in Surface EMG parameters during static and dynamic fatiguing contractions. *Journal of Electromyography and Kinesiology, 9(1)*, 39-46.
- Mayer, M. & Smékal, D. (2004). Měkké struktury kolenního kloubu a poruchy motorické kontroly [Electronic version]. *Rehabilitace a fyzikální lékařství, 3*, 111–117. Retrieved 15. 1. 2018 from the World Wide Web: <http://www.ftk.upol.cz/dokumenty/kfa/rehabilitace.doc>
- McBride, J. M., McCaulley, G. O. & Cormie, P. (2008). Influence of preactivity and eccentric muscle activity on concentric performance during vertical jumping. *J Strength Cond Res., 22(3)*, 750-757.
- Metaxas, T. I., Koutlianos, N., Sendelides, T., & Mandroukas, A. (2009). Preseason physiological profile of soccer and basketball players in different divisions. *Journal of Strength and Conditioning Research, 23(6)*, 1704-1713.
- Myer, G. D., Ford, K. & Hewett, T. (2004). Tationale and clinical techniques for anterior cruciate ligament iinjury prevention among female athletes, *Journal od Biomechanics, 43*, 2657-2664.
- Nashner, L. M. (1997). Fixed patterns of rapid postural responses among leg muscles during stance. *Exp Brain Res, 30*, 13–24.
- Neophytou, N., Charalambous, T., Aginsky, K. D. (2014). Isokinetic ahmstring and quadriceps muscle strength profiles of elite South African football players:

sport science. *African Journal for Physical Health Education*, 20(3), 1225- 1236.

Newton, P. J. (2018). The Power of Plyometrics. Retrieved from 21.3.2018 from World Wide Web: <https://strategicathlete.com/power-plyometrics/>.

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*, 82(3), 1-13.

Nýdrle, M. & Veselá, H. (1992). *Jedna kapitola ze speciální rehabilitace poranění kolenního kloubu (1st ed.)*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví.

Nyland, J. A., Caborn, D. N., Shapiro, R., & Johnson, D. L. (1997). Fatigue after eccentric quadriceps femoris work produces earlier gastrocnemius and delayed quadriceps femoris activation during crossover cutting among normal athletic women. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 5, 162– 7.

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.

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.

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.

- Papaevangelou, E., Metaxas, T., Riganas, Ch., Mandroukas, A., & Vamvakoudis, E. (2012). Evaluation of soccer performance in professional, semi-professional and amateur players of the same club. *Journal of Physical Education and Sport*, 12(3), 362-370
- Pauček, B., Smékal, D., & Holibka, R. (2014). Poranění předního zkříženého vazů -- diagnostika magnetickou rezonancí, operační, klinické a rehabilitační souvislosti. *Rehabilitace A Fyzikalni Lekarstvi*, 21(3), 103-112.
- Perrin, D. H. (1993). *Isokinetic exercise and assessment*. Champaign IL: Human Kinetics.
- 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.
- Psotta, R., Bunc, V., Mahrová, A., Netscher, J., & Nováková, H. (2006). *Fotbal: kondiční trénink*. Praha: Grada Publishing.
- Raastad, T., Owe, S. G., Paulsen, G., Enns, D., Overgaard, K., Crameri, R., Kiil, S., Belcastro, A., Bergersen, L., & Hallén, J. (2010). Changes in calpain activity, muscle structure, and function after eccentric exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 42(1), 86–95.
- Rahnama, N., Lees, A. & Reilly T. (2006). Electromyography of selected lower-limb muscles fatigued by exercise at the intensity of soccer match-play. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 16(3), 257-263.
- Rahnama, N., Lees, A. & Reilly, T. (2006). Electromyography of selected lower-limb muscles fatigued by exercise at the intensity of soccer match-play. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 16(3), 257-263.
- 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.

- Requena, B., González-Badillo, J., Saez De Villareal, E., García, I., Ereline, J., Gapeyeva, H., & Pääsuke, M. (2009). Functional performance, maximal strength, and power characteristics in isometric and dynamic actions of lower extremities in soccer players. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 23(5), 1391- 1401.
- 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.
- Rodová, R., Mayer, M., & Janura, M. (2001). Současné možnosti využití povrchové elektromyografie. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*, 8(4), 173-177.
- Rozzi, S.L., Lephart, S.M., Gear, W.S. & Fu, F.H. (1999). Knee-joint laxity and neuromuscular characteristics of male and female soccer and basketball players. *Am. J. Sports Med.*, 27, 312-319.
- Rumpf, M. C., & Cronin, J. (2012). Injury Incidence, Body Site, and Severity in Soccer Players Aged 6-18 Years: Implications for Injury Prevention. *Strenght and Conditioning journal*, 34(1), 20-31.
- Russel, P. J., Croce, R. V., Swartz, E. E. & Decoster, L. C. (2007). Knee-Muscle Activation during Landings: Developmental and Gender Comparisons. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39, 159-169.
- Russell, P. J., Croce, R. V., Swartz, E. E. & Decoster, L. C. (2007). Knee-Muscle Activation during Landings: Developmental and Gender Comparisons. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39: 159-169.
- Serefoglu, A., Sekir, U., Gür, H., & Akova, B. (2017). Effects of Static and Dynamic Stretching on the Isokinetic Peak Torques and Electromyographic Activities of the Antagonist Muscles. *Journal Of Sports Science & Medicine*, 16(1), 6-13.

- Shultz, S. J., Perrin, D. H., Adams, J. M., Arnold, B. L., Gansneder, B. M., & Granata, K.P. (2000). Assessment of neuromuscular response characteristics at the knee following a functional perturbation. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *10*, 159-170.
- Scherrer, J. (1995). *Únava* (M. Máček, Trans.). Praha: Victoria publishing.
- Silva, J. R., Ascensão, A., Marques, F., Seabra, A., Rebelo, A. & Magalhães, J. (2013). Neuromuscular function, hormonal and redox status and muscle damage of professional soccer players after a high-level competitive match. *European journal of applied physiology*, *113*(9), 2193–2201.
- Silvers, H. J., & Mandelbaum, B. R. (2007). Prevention of Anterior Cruciate Ligament Injury in the Female Athlete. *British Journal of Sports Medicine*, *41*(1), 152-159.
- 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.
- Søgaard K., Gandevia S.C., Todd, G., Petersen, N.T., & Taylor, J.L. (2006). The effect of sustained low-intensity contractions on supraspinal fatigue in human elbow flexor muscles. *J Physiol*. *573*(2), 511–523.
- Škorpil, M. (2018). *Superkompenzace. Co to je a jak se na ni připravit?* Retrieved 21.3.2018 from World Wide Web: <http://www.bezeckaskola.cz/clanek-702-superkompenzace.html>.
- Thacker, S. B., Gilchrist, J., Stroup, D. F. & Kimsey, C. D. (2004). The Impact of Stretching on Sports Injury Risk: A Systematic Review of the Literature. *Med. Sci. Sports Exerc.*, *36* (3), 371–378.
- Umberger, B. R. (1998). Mechanics of the vertical Jump and Two-Joint Muscles: Implication for Training. *Strenght and Conditioning Journal*. *22*, 70–74.

- Van der Made, A., Wieldraaijer, T., Kerkhoffs, G., van Dijk, C., Kleipool, R., Engebretsen, L., & Golanó, P. (2015). The hamstring muscle complex. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 23(7), 2115-2122.
- Van Praagh, E., Fellmann, N., Bedu, M., Falgairette, G., & Coudert, J. (1990). Gender differences in the relationship of anaerobic power output to body composition in children. *Pediatric Exercise Science*, 2, 336–348.
- Votík, J. (2005). *Trenér fotbalu „B“ UEFA licence*. Praha: Olympia.
- Wasaka, T. (2016). Somatosensory System and Voluntary Movement. *Adv. Exerc. Sports Physiol.*, 22 (1), 1-5.
- Winter, D.A. (2005). *Biomechanics and motor control of human movement*. New Jersey: John Wiley and Sons.
- Witvrouw, E., Danneels, L., Asselman, P., D'Have, T. & Cambier, D. (2003). Muscle Flexibility as a Risk Factor for Developing Muscle Injuries in Male Professional Soccer Players: A Prospective Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 31(1), 41-46.
- Zatsiorsky, V. M., & Kraemer, W. J. (2006). *Science and practice of strength training (2nd ed.)*. Champaign, IL: Human Kinetics

11 PŘÍLOHY

11.1 Příloha 1.

Příloha 1. Souhlas 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.

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

razítko fakulty

11.2 Příloha 2

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

Podpis zákonného zástupce:

Datum:

Podpis řešitele pověřeného touto studií:

Datum: