

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury

**HODNOCENÍ AKTIVITY VYBRANÝCH SVALŮ POMOCÍ POLY-EMG  
PŘED A PO ABSOLVOVÁNÍ ÚNAVOVÉHO PROTOKOLU U FOTBALISTŮ  
ŽÁKOVSKÝCH KATEGORIÍ PO SKONČENÍ SEZÓNY.**

Diplomová práce

(Magisterská)

Autor: Bc. Pavel Černý, fyzioterapie

Vedoucí práce: Mgr. Amr Zaatar, Ph.D.

Olomouc 2016

## **BIBLIOGRAFICKÁ IDENTIFIKACE**

**Jméno a příjmení autora:** Bc. Pavel Černý

**Název diplomové práce:** Hodnocení aktivity vybraných svalů pomocí poly-EMG před a po absolvování únavového protokolu u fotbalistů žákovských kategorií po skončení sezóny.

**Pracoviště:** Katedra fyzioterapie

**Vedoucí diplomové práce:** Mgr. Amr Zaatar, Ph.D.

**Rok obhajoby diplomové práce:** 2017

**Abstrakt:** Cílem diplomové práce bylo zhodnotit aktivitu vybraných svalů dominantní dolní končetiny pomocí povrchového poly EMG během koncentrických a excentrických kontrakcí při izokinetickém režimu při úhlových rychlostech 60°/s a 180°/s u fotbalistů žákovských kategorií po skončení sezóny s porovnáním výsledků před zahájením sezóny. Výsledný testovaný soubor tvořilo 11 fotbalistů SK Sigma Olomouc žákovské kategorie. Pro měření izokinetických kontrakcí byl použit přístroj IsoMed 2000 a elektromyografický přístroj NORAXON MyoSystem 1400A. Následné zpracování EMG signálu bylo provedeno pomocí programu MyoResearch XP Master Version 1.03.05. Svalová aktivita byla snímána na dominantní dolní končetině u osmi svalů. Měření bylo provedeno ve třech sériích po třech opakováních před a po absolvování únavového protokolu (SAFT<sup>90</sup>). Porovnání výsledků před a po absolvování únavového protokolu ukázalo několik statisticky významných rozdílů. Při porovnání aktivity jednotlivých svalů mezi měřeními před začátkem a po konci sezóny se objevila též řada statisticky významných rozdílů u hodnoty mean frequency i mean amplitude a to jak před absolvováním, tak i po absolvování únavového protokolu. U hodnoty mean frequency během koncentrické flexe před absolvováním únavového protokolu v úhlové rychlosti 180°/s u m. semitendinosus, během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 60°/s u m. vastus lateralis a rychlosti 180°/s u m. vastus medialis. Při excentrické kontrakci v úhlové rychlosti 60°/s u m. semitendinosus. Po absolvování únavového protokolu byly statisticky významné rozdíly během koncentrické kontrakce v úhlové

rychlosti 60°/s u m. semitendinosus a m. biceps femoris a rychlosti 180°/s u m. semitendinosus. U koncentrické extenze v úhlové rychlosti 60°/s m. rectus femoris a m. vastus lateralis a rychlosti 180°/s u m. rectus femoris, m. vastus medialis a m. vastus lateralis. Při excentrické kontrakci v úhlové rychlosti 60°/s u m. gastrocnemius medialis, lateralis a m. semitendinosus. Během excentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s u m. gastrocnemius medialis, lateralis a m. semitendinosus. Výsledky u hodnoty mean amplitude ukázaly statisticky významný rozdíl před absolvováním únavového protokolu u koncentrické extenze v úhlové rychlosti 180°/s u m. rectus femoris. Po absolvování únavového protokolu pak v rychlosti 60°/s a 180°/s. Během Excentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s u m. gastrocnemius medialis a lateralis a v rychlosti 180°/s u m. gastrocnemius lateralis.

**Klíčová slova:** excentrická kontrakce, izokinetická dynamometrie, koncentrická kontrakce, povrchová elektromyografie, únavový protokol, sval, svalová únava

Souhlasím s půjčováním diplomové práce v rámci knihovních služeb.

## **BIBLIOGRAPHIC IDENTIFICATION**

**First and last name of the author:** Bc. Pavel Černý

**Title of the dissertation:** Evaluation of Activity of the Selected Muscles Using Poly-EMG before and after the Completion of the Fatigue Protocol among Footballers from Pupil Categories after the End of the Season.

**Workplace:** Department of physiotherapy

**Supervisor: of the dissertation:** Mgr. Amr Zaatar, Ph.D.

**Dissertation defence year:** 2017

**Abstract:** The aim of the dissertation was to evaluate activity of the selected dominant lower limb muscles using surface poly-EMG during concentric and eccentric contractions during the isokinetic mode at the angular speed of 60 °/s and 180 °/sec among footballers from the pupil category after the end of the season, comparing the results with the ones before the start of the season. The resulting test sample consisted of 11 footballers of SK Sigma Olomouc, the pupil category. For the isokinetic contraction measurements the IsoMed 2000 device and NORAXON MyoSystem 1400A electromyographic device were used. The subsequent processing of the EMG signal was performed using the MyoResearch XP Master Version 1.03.05. software. Muscle activity was monitored on eight muscles of the dominant lower limb. Measurements were performed in three series, with three repetitions before and after the completion of the (SAFT<sup>90</sup>) fatigue protocol. When comparing the results before and after the completion of the fatigue protocol a few statistically significant differences appeared. When comparing the activity of the individual muscles between the measurements taken before and after the end of the season, a number of statistically significant differences in the mean frequency and mean amplitude values also appeared, both before and after completing the (SAFT<sup>90</sup>) fatigue protocol. These differences were observed in mean frequency values during concentric flexion before completing the fatigue protocol at the angular speed of 180 °/s for m. semitendinosus, during the concentric extension at the angular speed of 60 °/s for m. vastus lateralis, and at the speed of 180 °/s for m. vastus

medialis; during the eccentric contraction at the angular speed of 60 °/sec for m. semitendinosus. After completing the fatigue protocol, there were statistically significant differences during concentric contraction at the angular speed of 60 °/s for m. semitendinosus and m. biceps femoris, and at the speed of 180 °/s for m. semitendinosus; for concentric extension at the angular speed of 60 °/s for m. rectus femoris and m. vastus lateralis, and at the speed of 180 °/sec for m. rectus femoris, m. vastus medialis and m. vastus lateralis; during eccentric contraction at the angular speed of 60 °/s for m. gastrocnemius medialis, lateralis, and m. semitendinosus; during eccentric flexion at the angular speed of 180 °/s for m. gastrocnemius medialis, lateralis and m. semitendinosus. Results for the mean amplitude values showed a statistically significant difference before completing the fatigue protocol with concentric extension at the angular speed of 180 °/s for m. rectus femoris. After completing the fatigue protocol it was observed at the speed of 60 °/sec and 180 °/sec; during eccentric flexion at the angular speed of 60 °/s for m. gastrocnemius medialis and lateralis, and at the speed of 180 °/s for m. gastrocnemius lateralis.

**Key words:** eccentric contraction, isokinetic dynamometry, concentric contraction, surface electromyography, fatigue protocol, muscle, muscle fatigue

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

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně s odbornou pomocí Mgr. Amra Zaatara, Ph.D., uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a řídil se zásadami vědecké etiky.

V Olomouci dne 21. 11. 2016

Děkuji Mgr. Amru Zaatarovi, Ph.D. za pomoc a cenné rady, které mi poskytl při zpracování diplomové práce. Dále děkuji výzkumnému kolektivu za realizaci měření a také RNDr. Milanu Elfmarkovi za pomoc při statistickém zpracování dat.

## OBSAH

ÚVOD .....	9
1 PŘEHLED POZNATKŮ.....	10
1.1 Kosterní svalovina.....	10
1.1.1 Stavba svalu.....	10
1.1.2 Formy kontrakce svalu .....	10
1.1.3 Svalový metabolismus.....	12
1.1.4 Inervace svalů.....	12
1.1.5 Typy svalových vláken.....	13
1.2 Únava .....	14
1.3 Regenerace .....	16
1.4 Izokinetická dynamometrie.....	18
1.5 Povrchová elektromyografie .....	19
1.5.1 Bipolární snímání .....	20
1.5.2 Faktory a limity ovlivňující snímaný signál.....	20
1.5.3 Hodnocení EMG signálu .....	21
1.5.4 SEMG a svalová únava .....	22
1.5.5 Studie EMG.....	23
1.6 Svalová síla u fotbalistů .....	23
2 Cíle a hypotézy .....	25
2.1 Cíl diplomové práce .....	25
2.2 Dílčí cíle.....	25
2.3 Hypotézy .....	25
3 METODIKA.....	27
3.1 Charakteristika výzkumného souboru.....	27
3.2 Postup před měřením.....	27
3.2.1 Technické podklady měření .....	27



3.2.2	Umístění elektrod .....	27
3.3	Průběh měření .....	28
3.4	Zpracování a vyhodnocování výsledků.....	28
3.4.1	Analýza poly-EMG záznamu .....	28
3.4.2	Statistické zpracování dat .....	29
4	VÝSLEDKY.....	30
4.1	Hypotéza H1.....	30
4.2	Hypotéza H2.....	34
4.3	Hypotéza H3.....	36
4.4	Hypotéza H4.....	40
4.5	Hypotéza H5.....	42
4.6	Hypotéza H6.....	48
4.7	Hypotéza H7.....	52
4.8	Hypotéza H8.....	58
5	DISKUZE .....	62
6	ZÁVĚR.....	68
7	SOUHRN.....	70
8	SUMMARY .....	71
9	REFERENČNÍ SEZNAM .....	73
10	PŘÍLOHY .....	81

## **SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK**

ACL - přední zkřížený vaz

BF - musculus biceps femoris

EXC - excentrická kontrakce

GL - musculus gastrocnemius lateralis

GM - musculus gastrocnemius medialis

KOK - kolenní kloub

KON - koncentrická kontrakce

m - musculus

PL - posterolaterální svazek

RF - musculus rectus femoris

SEMG - povrchová elektromyografie

ST - musculus semitendinosus

VL - musculus vastus lateralis

VM - musculus vastus medialis

# 1 ÚVOD

Fotbal je celosvětově populárním kontaktním sportem, který provozuje mnoho sportovců, ale ve kterém dochází často k muskuloskeletálním poraněním, zejména pak ischiokrurálních svalů a poranění předního zkříženého vazů. Důležitá je svalová síla, která prezentuje sportovní výkonnost a působí také jako prevence zranění. Ve fotbale se při specifických pohybech (sprinty, výskoky, osobní souboje, změny směru, kopy do míče) významně uplatňuje svalová síla flexorů a extenzorů kolenního kloubu. Asymetrie síly flexorů a extenzorů kolenního kloubu a bilaterální svalové dysbalance jsou příčinou zranění hamstringů a měkkých struktur kolenního kloubu. Pro posuzování rizika zranění a připravenosti k soutěžení se hodnotí poměr síly hamstringů a kvadricepsu (Aginski, Neophytou, & Charalambous, 2014; Cheung, Smith, & Wong, 2012; Lehnert, Chvojka, & Psotta, 2015). Rotační stabilitu kolenního kloubu zajišťuje souhra svalů, ligament a kloubní pouzdro. Přední zkřížený vaz (ACL) a zadní zkřížený vaz (PCL) hrají při stabilizaci KOK hlavní roli jako pasivní složka, stejně jako mediální a laterální kolaterální vaz (Roessler, Schüttler, Heyse, Wirtz, & Efe, 2016). Ve fotbale je přetržení předního zkříženého vazů (ACL) běžným poraněním a také může ukončit kariéru fotbalisty (Sandon, Werner, & Forssblad, 2015). Také lehká funkční excentrická slabost a unavitelnost hamstringů může v pozdější fázi zápasu způsobit zranění těchto svalů (Aginski, Neophytou, & Charalambous, 2014). Riziko vzniku poškození předního zkříženého vazů roste s věkem a je častější u žen (Waldén, Hägglund, Werner, & Ekstrand, 2011). Správné nervosvalové řízení a zvýšení svalové síly je nejlépe ovlivnitelný rizikový faktor zranění KOK (Myer et al., 2009). Únava způsobuje horší stabilitu kolenního kloubu a je jedním z rizikových faktorů vzniku poranění ACL (De Ste Croix, Priestley, Lloyd, & Oliver, 2015).

## 2 PŘEHLED POZNATKŮ

### 2.1 Kosterní svalovina

#### 2.1.1 Stavba svalu

V lidském těle se nachází asi 600 svalů, kdy většina je párová (300 svalů na každé půlce těla). Hmotnost svalů zaujímá u mužů průměrně 36-45 % tělesné hmotnosti, u žen 32 %, kdy záleží na trénovanosti dotyčného. Hlavním úkolem kosterní svaloviny je působit silou na kostru a tvoří tak hybnou, motorickou (efektorovou) složku pohybového systému. Příčně pruhovaná svalová vlákna jsou základní aktivní složkou svalu a druhou složkou je vazivo, které spojuje a obaluje svalová vlákna i celý sval a také vytváří úpony svalu ke kosti (šlachy). Šlacha (tendo) je značně pevná, snese pevnost 6-12 kg na 1 mm<sup>2</sup> průřezu. Většina kosterních svalů začíná (origo) a končí ve šlachách (insertio) a svalová vlákna jsou uspořádána paralelně, tudíž síla kontrakce každé jednotky se sčítá se silou kontrakce dalších jednotek. Svalová hlava (caput) plynule přechází v břicho svalu (venter musculi). Sval může mít jednu až čtyři hlavy (Čihák, 2008; Dylevský, 2009; Ganong, 2005; Naňka & Elišková, 2015; Trojan et al., 1999).

Pro realizaci pohybu jsou klíčové čtyři vlastnosti svalové tkáně. Jsou to excitabilita (dráždivost), kontraktibilita (stažlivost), extenzibilita (protažitelnost) a elasticita (pružnost) (Dylevský, 2009; Hamill & Knutzen, 2003).

#### 2.1.2 Formy kontrakce svalu

Na jeden akční potenciál motoneuronu sval odpovídá tzv. svalovým trhnutím. Přirozená kontrakce svalu má však formu tetanického stahu. Při dostatečné frekvenci opakovaného dráždění (salvy akčních potenciálů) nasedá na zbytek kontrakce předchozího trhnutí další kontrakce a následující stah je pak intenzivnější. Pokud další impulz přijde v sestupné fázi záškubů, vzniká vlnitý tetanus. Jestli podněty přicházejí ještě za vzestupné fáze kontrakce, dochází tak k sumaci a vzniká hladký tetanus (při frekvenci impulzů nad 30 Hz obvykle dochází k maximálně možné kontrakci) (Ganong, 2005; Trojan et al., 1999; Van De Graaff, Fox, & LaFleur, 1997).

Sval obsahuje i elastické a viskózní složky zapojené s kontraktilními jednotkami v sérii, proto je možné, aby kontrakce proběhla i bez zjistitelného zkrácení svalu jako celku. Taková kontrakce je izometrická. Sval se vyznačuje určitým napětím (svalový tonus), který závisí na stavu CNS a je průvodním jevem reaktivity svalu na zevní podnět. Kontrakce proti stálému odporu s přiblížením konců svalů je izotonická, tonus zůstává stejný. Může probíhat jako kontrakce koncentrická, kdy se sval zkracuje, a kontrakce excentrická, brzdící, při níž se sval prodlužuje (Ganong, 2005; Naňka & Elišková, 2015; Trojan et al., 1999; Van De Graaff, Fox, & LaFleur, 1997; Véle, 2006).

Účinnost mechanických podnětů na svalovou tkáň závisí na typu kontrakce. Excentrická kontrakce se ukázala jako silnější stimul pro neuromuskulární adaptaci oproti kontrakci koncentrické (Adams, Cheng, Haddad, & Baldwin, 2004).

K excentrické kontrakci dochází, pokud je zátěž působící na sval větší než síla svalu, produkovaná všemi aktivovanými motorickými jednotkami. Během tohoto procesu sval absorbuje energii vyvinutou vnějším zatížením a proto se excentrický trénink nazývá negativní práce. Tato absorbovaná energie může být rozptýlena ve formě tepla, přičemž v tomto případě sval funguje jako tlumič, nebo může být dočasně uložena jako elastický zpětný ráz potenciální energie, která může být následně navracena (lokoalice, skoky). Excentrická kontrakce se vyznačuje účastí elastických elementů, které jsou odpovědné za produkci pasivního napětí ve svalu, který je aktivně protahován. Excentrické cvičení se klasicky provádí při konstantní rychlosti (izokineticky), nebo proti konstantnímu zatížení (izotonicky) (Guilhem, Cornu, & Guével, 2010).

Maximální excentrické izokinetické cvičení může být prováděno bez jakéhokoliv rizika pro srdeční funkci u mladých jedinců se sedavým způsobem života. Nicméně toto cvičení vyvolává významnou míru oxidačního stresu (Le Goff et al., 2014).

Po excentrickém tréninku je pozorován vyšší nárůst svalové hmoty a síly ve srovnání s tréninkem koncentrickým. To je přisuzováno zejména k většímu napětí produkované svalovými vlákny během maximálních excentrických kontrakcí a nižší unavitelnosti motorických jednotek v excentrických cvičeních oproti koncentrickým. To umožňuje lepší pracovní zatížení svalu během excentrického tréninku, což může

znamenat větší neuromuskulární adaptaci oproti koncentrickému zatížení (Baroni, Stocchero, Santo, Ritzel, & Vaz, 2011).

### **2.1.3 Svalový metabolismus**

Mechanická energie svalové kontrakce je získávána přímo z chemické energie. Bezprostředním zdrojem energie pro svalovou práci je chemická sloučenina ATP (adenosintrifosfát), který se při posuvu filament štěpí na energeticky chudší adenosindifosfát (ADP) a organický fosfát (P). ATP je průběžně doplňován a jeho zdrojem je štěpení kreatinfosfátu (KrP), anaerobní glykolýza a aerobní oxidace glukózy a mastných kyselin. Konečným produktem anaerobní reakce je laktát, který se ukládá ve svalech. Pokud je jeho produkce příliš velká a dlouhodobá, hromadí se i  $H^+$ , kdy může vznikat až laktacidóza. To je spojeno s únavou. Projevuje se i kyslíkový dluh, který je pak uhrazen vyšší spotřebou kyslíku po skončení zátěže, sloužící k regeneraci zásob a odbourávání laktátu v játrech a srdci (Naňka & Elišková, 2015; Rokyta et al., 2015; Silbernagl & Despopoulos, 1993).

### **2.1.4 Inervace svalů**

Motorická inervace probíhá pomocí nervových vláken, které začínají jako výběžky motorických neuronů míchy a mozkového kmene. Ke svalu přicházejí nervová vlákna ve smíšeném nervu, pronikají jeho sarkoplazmou a s ní pak vytváří specializované útvary, synapce - motorické ploténky. Transmitorem je acetylcholin (ACh), který je skladován ve vezikulách v nervových zakončeních. Zde se mění nervový vzruch ve svalový, jehož následkem je smrštění svalu. Jedno nervové vlákno (motoneuron) se větví k většímu počtu svalových vláken a vytvářejí tak funkční nervově svalový celek - motorickou jednotku (MJ). Počet vláken inervovaných jedním motoneuronem se pohybuje v rozmezí 5 až 1000 a více. MJ lze rozlišit na jednotky rychlého a pomalého typu. Síla stahu svalu závisí na frekvenci akčních potenciálů a počtem aktivovaných MJ. Při malé volní aktivitě se dráždí jen několik málo MJ a při stoupajícím volním úsilí jich vstupuje do činnosti stále více. Dochází tak k náboru motorických jednotek (recruitment). Celá motorická jednotka je kontrahovaná, nebo relaxovaná (Ganong, 2005; Naňka & Elišková, 2015; Rokyta et al., 2015; Silbernagl & Despopoulos, 1993; Trojan et al., 1999).

Senzitivní inervace zajišťuje vedení dvěma způsoby. Propriocepce - informace o poloze a napětí. Nocicepce - vlastní senzitivní podněty, pocity bolesti. Propriocepce je zajišťována nervy, které začínají na úsecích svalových vláken, tvořící několikamilimetrový útvar - svalové vřetenko. Ve šlaše se tento podobný útvar nazývá Golgiho šlachové tělísko. Svalová vřetenka informují o stupni svalového napětí, kdy pokud je sval přetížen, inhibuje vlastní sval a aktivuje sval antagonistický (Naňka & Elišková, 2015).

### 2.1.5 Typy svalových vláken

Kosterní sval je heterogenní tkání složenou z vláken, lišící se řadou mikroskopických, histochemických a fyziologických vlastností. Rozlišují se tak čtyři typy svalových vláken: (Dylevský, 2007; Dylevský, 2009; Ganong, 2005; Hamill & Knutzen, 2003; Máček & Radvanský, et al., 2011)

1. Pomalá červená vlákna (typ I, SO); velmi tenká (cca 50  $\mu\text{m}$ ), obsahují méně myofibril, hodně mitochondrií a větší množství myoglobinu, dodávající jim červenou barvu. Typická jsou větším množstvím krevních kapilár a enzymaticky jsou vybavena k pomalejší kontrakci, ale vhodná pro déletrvající vytrvalostní činnost. Jsou ekonomická a ve stavbě svalu zajišťují spíše statické, polohové funkce a pomalý pohyb, protože se málo unaví. Nazývají se také jako tonická vlákna (slow fibres).

2. Rychlá červená vlákna (typ IIa, FOG); objemnější (cca 80-100  $\mu\text{m}$ ), mají více myofibril, méně mitochondrií a střední množství kapilár. Enzymaticky jsou pak vybavena k rychlejší kontrakci prováděným velkou silou po krátkou dobu. Jsou méně ekonomická, odolná proti únavě. Jsou označována také jako fázická vlákna (switch fibres).

3. Rychlá bílá vlákna (typ IIb, FG); jsou objemná, mají málo kapilár, nízký obsah myoglobinu a nízký obsah oxidativních enzymů. U těchto vláken dochází k rychlému stahu prováděnému maximální silou, v důsledku silně vyvinutého sarkoplazmatického retikula a vysoké aktivity iontů Ca a Mg. Vlákna jsou málo odolná proti únavě.

4. Přejídná vlákna (typ III); jsou vývojově nediferencovanou populací vláken, která je nejspíš potenciálním zdrojem předchozích tří typů vláken.

Ve studii Nilwik et al. (2013) došli k závěru, že redukce svalové hmoty, spojená se stárnutím, se dá přičíst menší velikosti svalových vláken typu II. Je ale nepravděpodobné, že by to bylo doprovázeno úbytkem svalových vláken.

Při krátkodobém maximálním výkonu je prokázán větší metabolický stres, indikovaný snížením ATP, ve vláknech typu II ve srovnání s vlákny typu I. (Zajac, Chalimoniuk, Maszczyk, Gołaś, & Lngfort, 2015).

Článek Haizlip, Harrison, & Leinwand (2015) uvádí převahu pomalejších vláken typu I a IIa u žen ve srovnání s muži, související s nižší rychlostí kontrakce u žen oproti mužům. Prevalence pomalejších vláken je také přínosem pro ženský výkon tím, že vyšší oxidativní kapacita vláken typu I umožní větší vytrvalost a zotavení, tedy rozdíl mezi pohlavím co se týče reakce na únavu.

Nábor typů svalových vláken závisí na intenzitě prováděného cvičení, kdy svalová vlákna typu I jsou aktivována na začátku cvičení, zatímco vlákna typu II až po zvýšení intenzity cvičení (Zajac, Chalimoniuk, Maszczyk, Gołaś, & Lngfort, 2015).

## 2.2 Únava

„Únava jsou změny v organismu, které nastávají v důsledku jeho zatížení“ (Novotný, 2013, 23).

Intenzivní práce vede k vyčerpání zásob glykogenu ve svalu, nahromadění anorganického fosforu a intracelulární acidóze. Jednou z nejvýraznějších příčin svalové únavy je nejspíš nahromadění anorganického fosfátu. Dále se také ještě objevuje synaptická únava, kdy jsou při opakované aktivaci nervosvalových spojení vyčerpány neurotransmitery v zakončeních. Záleží i na zátěži mitochondrií v presynaptických zakončeních (Rokyta et al., 2015).

Termín svalová únava se používá k označení přechodného snížení schopnosti vykonávat fyzické činnosti. Odkazuje na deficit řízení, percepce nebo pokles mentální funkce. To může znamenat postupné snížení kapacity svalové energie nebo konec trvající činnosti a dále pak pokles svalové síly nebo vyčerpání kontraktilní funkce (Enoka & Duchateau, 2008).

Pro definici únavy jsou rozhodující tři sjednocující body: (Williams & Ratel, 2009)



1. Je přítomen pokles v jednom nebo více biologických systémech
2. Pokles je vratný (rozlišení oproti zranění nebo nemoci)
3. Pokles se může, ale i nemusí objevit před pozorovatelnou změnou ve výkonu nebo selháním a tím pak ukončením další práce (odlišení projevů únavy při testování během maximální krátkodobé aktivity a dlouhodobé vytrvalostní zátěže)

Příčinou únavy je narušení jednoho nebo více fyziologických procesů, které umožňují funkci kontraktilních proteinů (Enoka & Duchateau, 2008).

Fyziologická únava je normálním obranným mechanismem organismu. Ten tak upozorňuje na nebezpečí poškození z přetížení. Je to dřívější fáze únavy a ještě nejsou přítomny poruchy funkcí a poškození orgánů. Přítomny jsou pouze méně intenzivní nepříjemné pocity a snížený výkon. Ještě je schopnost pokračovat ve výkonu (Máček & Radvanský, et al., 2011; Novotný, 2013).

Patologická únava vzniká pokračující zátěží i přes již projevující se fyziologickou únavu. Jedná se o pozdější fázi únavy, při níž vznikají velmi intenzivní nepříjemné pocity, poruchy funkcí a poškození orgánů. Končí schopnost pokračovat ve výkonu (Máček & Radvanský, et al., 2011; Novotný, 2013).

Příčinou únavových periferních změn i celého organismu je intenzivně probíhající energetický metabolismus v buňkách kosterních svalů. Dochází k vyčerpání zdrojů energie (ATP, CP, glukóza, volné mastné kyseliny, atd.), hromadění produktů energetického metabolismu (vodíkových kationtů, kyslíkových volných radikálů), nedostatku enzymů (laktát-dehydrogenáza, kreatin-kináza, aj.), přesunům a ztrátám iontů ( $K^+$ ,  $Na^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Cl^-$ , atd.), přesunům a ztrátám vody a hromadění tepla. U delších vytrvalostních výkonů se přidává složka mentální (centrální) únavy (Novotný, 2013; Shei & Mickleborough, 2013).

Periferní únava se týká namáhavých procesů, které vedou ke snížení produkce síly, vyskytující se distálně na nervosvalové ploténce. To může být prokázáno poklesem záškubu vyvolaného periferní nervovou stimulací svalu, který je v klidu. Periferní únava je výsledkem omezení funkce svalů (nahromadění metabolitů, fosfátu, vyčerpání substrátů). Centrální únava se týká centrálních faktorů (snížení motivace, neuromuskulárního přenosu, náboru motorických jednotek, atd.) a může být definována jako selhání volní aktivace svalu při námaze. Může být prokázána zvýšením síly

vyvolané nervovou stimulací během maximálního volným úsilí. Některá centrální únava může být přičtena supraspinálním mechanismům (Taylor & Gandevia, 2008; Shei & Mickleborough, 2013).

K centrální i periferní únavě dochází pomaleji během cvičení v submaximální intenzitě oproti maximálním volným kontrakcím (Taylor & Gandevia, 2008).

Centrální i periferní únava se rozvíjí během přerušované izolované svalové kontrakce, pokud je maximální nebo submaximální úsilí. Oba typy se objevují i během vícekloubových aktivit, jako je běhání či cyklické cvičení (Decorte, Lafaix, Millet, Wuyam, & Verges, 2012).

Z hlediska doby únavy se rozlišuje akutní (přetížení, přepětí nebo schvácení) a chronická únava (přetrénování). Akutní únava se projevuje v průběhu nebo těsně po fyzické zátěži a trvá maximálně dny až týdny. Chronická únava se rozvíjí po velmi dlouhou dobu a přetrvává i dlouho po skončení fyzické zátěže a to týdny až měsíce, i několik let. Přechod akutní v chronickou únavu záleží na druhu, intenzitě, frekvenci a objemu zátěže (Máček & Radvanský, et al., 2011; Novotný, 2013).

Z pohledu rozsahu únavy se může jednat o místní a celkovou únavu. Místní únava je lokalizována hlavně v místě nejvíce zapojených svalů a hlavním mechanismem bolestivých projevů je pravděpodobně dráždění volných nervových zakončení a receptorů bolesti způsobené ischemií, acidózou a přítomností produktů metabolismu. Celková únava vzniká prací většího počtu svalů, která potřebuje intenzivní činnost i jiných orgánů a systémů těla. Projevuje se objektivními změnami a subjektivními pocity i mimo hlavní pracující svalové skupiny a to v mozkových funkcích, krevním oběhu, dýchání, kůži, ledvinách, játrech, atd. (Novotný, 2013).

### **2.3 Regenerace**

Podle Dylevského (2007) je regenerace svalu náhrada svalovou tkání poškozeného příčně pruhovaného svalu. Poškozený sval se běžně hojí vazivovou jizvou, která se nemůže kontrahovat a tak je sval v různém rozsahu defektní.

Regenerace sil slouží jako prevence přetrénování a je součástí přípravy na sportovní výkon. Průběžně tak odstraňuje únavu ze sportovního tréninku, soutěží a také přispívá k naplnění tréninkového principu superkompenzace. V rámci regenerace sil se doporučuje rozumně regulovat tréninkovou tělesnou zátěž a střídat zátěž

s odpočinkem, věnovat se i jiným činnostem a zálibám, naučit se relaxaci, mít dostatek spánku, pít dostatek tekutin a stravovat se dle potřeb organismu, včas odhadovat a řešit zdravotní problémy a také řešit psycho-sociální problémy, využívat fyzioterapeutické procedury - masáž (manuální, přístrojová, podvodní), hydroterapie (obklady, koupele, cvičení a plavání), elektroterapie (diadynamické proudy, elektrostimulace), termoterapie, fototerapie, komplexní lázeňská péče v lázních, pobyt v prostředí s příznivě působícím podnebím (u moře, na horách) (Nováková et al., 2012; Novotný, 2013).

„Zotavení se obecně považuje za přirozený biologicko-anabolický proces, při kterém dochází k postupnému návratu klidových funkcí organismu, obnově energetických substrátů, které byly v průběhu zatížení redukovány (především sacharidy) a/nebo k proteosyntéze. Základní funkcí zotavení je odstranění únavy“ (Lehnert, Botek, Sigmund, Smékal, et al., 2014, 5).

Průběh zotavných procesů závisí na vnějších a vnitřních faktorech. Mezi vnitřní faktory patří pohlaví, věk, genetické predispozice, trénovanost, psychologické faktory a rychlost odstraňování katabolitů. Mezi vnější faktory se řadí typ pohybové aktivity, dostupnost suplementů a časové posuny. Z časového hlediska se rozlišuje fáze rychlá (časná) a fáze pomalá. V rychlé první fázi se splácí kyslíkový dluh díky tzv. zotavnému kyslíku, který se využívá pro obnovu zásob kyslíku v krvi a svalového myoglobinu. Obnovují se zásoby ATP, CP a dochází k návratu sodíku ( $\text{Na}^+$ ) a draslíku ( $\text{K}^+$ ) na buněčné úrovni do původních koncentrací. V časně fázi také dochází k významnému snižování srdeční frekvence, která souvisí s rychlostí pozátěžové reaktivace vagu. V druhé pomalejší fázi se metabolizuje laktát na glykogen. Zde je spotřebováno okolo 60% přijatého kyslíku a zbylých 40% je využito na tvorbu energie potřebné pro termoregulaci. Obnova svalového glykogenu trvá po aerobním výkonu 10-48 hodin a po anaerobním cvičení 5-24 hodin (Lehnert, Botek, Sigmund, Smékal, et al., 2014).

Nováková et al. (2012) ve svém článku popisují myotonometrii, kdy se jedná o objektivizační metodu, která zkoumá viskoelastické vlastnosti svalu a právě myotonometrem je simulována palpace svalu. Výsledkem je hysterézní křivka, která vzniká při zasouvání a vytahování měřicího hrotu do měkké tkáně. Tato křivka je pak použita pro relevantní popis viskoelastických vlastností měkkých tkání. Dále pak pojednávají o studiích, které probíhali na FTVS UK (účastníci byli zdraví aktivně sportující studenti, 16 žen a 14 mužů) s cílem objektivizace a komparace účinnosti

regeneračních procedur na viskoelastické vlastnosti svalové tkáně m. soleus a m. gastrocnemius. Výsledky těchto studií ukázaly, že nejúčinnější metodou pro regeneraci svalů ve smyslu snížení svalového napětí je aplikace suché jehly, ale pouze v přítomnosti trigger pointu ve zkoumaném svalu. Také správně indikovaná mobilizace přináší pozitivní výsledky. Další metodou určenou pro snížení hypertonu je sauna a lokální kryoterapie. Výsledky také ukázali, že masáž neměla na svalové napětí žádný vliv a u strečinku se dokonce jednalo o opačný efekt, tedy zvýšení svalového napětí. Měření ukázala, že myotonometrem se dá hodnotit změny svalového napětí po sportovním výkonu a po různých druzích regenerace a také to, že ne všechny regenerační postupy mají pozitivní efekt na snížení svalového napětí.

## 2.4 Izokinetická dynamometrie

Izokinetická dynamometrie byla poprvé představena v roce 1960 a stále je považována za zlatý standard. Široká akceptace a uplatnění této metody vyplývá z vysoké reprodukovatelnosti naměřených výsledků (Dirnberger, Huber, Hoop, Kösters, & Müller, 2013).

Izokinetická dynamometrie je založena na izokinetické síle, tedy schopnosti dosáhnout maximálního silového výkonu v celém rozsahu pohybu při poměrně konstantní rychlosti. Izokinetický dynamometr zajišťuje konstantní rychlost bez ohledu na napětí v kontrahovaných svaích. Také umožňuje testování izokinetických svalových kontrakcí při různých rychlostech. Sledovanými parametry při izokinetické dynamometrii jsou silový výkon –  $F$  [N], kroutivý moment a moment síly [Nm], úhlová rychlost ( $\text{o.s}^{-1}$ ), rychlost lineárního pohybu ( $\text{m.s}^{-1}$ ), výkon ( $W$ ) a práce ( $J$ ) (Bernaciková, Novotný, & Siriški, 2014).

Izokinetické cvičení se obvykle používá pro vyhodnocování svalové dysfunkce nebo v rehabilitaci po svalovém či kloubním poranění (Le Goff et al., 2014) a dále pro hodnocení efektu tréninkového programu, zejména pro identifikaci svalového oslabení a jeho kompenzace (Lehnert, Urban, Procházka, & Psotta, 2011). Izokinetické dynamometry se klasicky používají pro posouzení nervosvalové funkce prostřednictvím různých parametrů jako jsou vrchol točivého momentu, celková práce nebo poměr maximálního točivého momentu mezi agonisty a antagonisty (Bosquet et al., 2016). Izokinetické dynamometry poskytují trénovaným možnost kontrakce kosterních svalů

na submaximální nebo maximální úrovni při kontrolovaných rychlostech (Ratamess et al., 2016).

Vícekloubový izokinetický odporový trénink má pozitivní účinky na dynamický sportovní výkon a nárůst síly (Ratamess et al., 2016).

Cílem studie (Kovacevic, Abazovic, Mensur, & Bradic, 2013) bylo určit efekty izokinetického tréninku dolní části těla na výbušnou sílu ve výskoku a srovnat tyto výsledky s konvenčními a nekonvenčními metodami. Nejběžnějšími používanými testy na určení výbušné síly ve výskoku jsou skok do výšky a skok do dálky. Došlo se k názoru, že izokinetický odpor má několik předností oproti jiným tréninkovým metodám. Velkou předností je fakt, že jedna svalová skupina může být trénována v jejím maximálním potenciálu během celého rozsahu pohybu. Další výhodou je pak amplituda a rychlost pohybu, která se dá regulovat. Největší přednost izokinetického tréninku je v individualitě, tedy že každý trénink záleží na trénovaném a tedy jeho schopnostech, potenciálu, charakteru a specifikaci sportu. Na základě prokázaných výsledků této studie se může konstatovat, že koncentrický izokinetický trénink dolní části těla má významný transformační účinek co se týče výbušné síly ve výskoku, postihující obě složky, tedy horizontální i vertikální. Skok do dálky z místa a horizontální skok jako proměnná ve výbušné síle ukazuje, že aplikování izokinetického tréninku má statisticky významné účinky. Dokazuje to tedy, že tento trénink má lepší účinky než konvenční a nekonvenční tréninkové metody zaměřené na rozvoj výbušné síly při výskoku. Je ale třeba poznamenat, že tento typ tréninku v moderním sportu nemůže nahradit základní kondiční cvičení v izotonických podmínkách, ale může sloužit jako dodatečný trénink v rámci celkového tréninkového programu.

## **2.5 Povrchová elektromyografie**

Pro povrchovou elektromyografii se používá také označení SEMG, z anglického Surface-(Poly)-Electro-Myo-Graphy, dále také PEMG, případně polyEMG. Jedná se o přístrojovou elektronickou technologii pro záznam a analýzu bioelektrických potenciálů, které reflektují kontrakční aktivity kosterních svalů během určitého pohybu. Hlavní klinickou užitečností SEMG je možnost objektivně a reprodukovatelně analyzovat pohyb a funkční pohybové poruchy (Konrad, 2006; Krobot & Kolářová, 2011).

### **2.5.1 Bipolární snímání**

SEMG poskytuje informaci z většího množství svalové tkáně a umožňuje měřit více svalů současně během různých pohybových aktivit. Jsou snímány akční potenciály většího množství motorických jednotek v blízkosti snímacích senzorů, umístěných na kůži nad testovaným svalem. Povrchová svalová aktivita je nejčastěji snímána bipolárně pomocí dvou elektrod, které jsou umístěné paralelně s průběhem svalových vláken. Obě elektrody snímají v daném okamžiku různé elektrické potenciály vzhledem k referenční elektrodě, umístěné v určité vzdálenosti od SEMG senzorů v elektricky co nejméně aktivní oblasti. Výsledkem snímání je bipolární signál posléze zesílený v diferenciálním zesilovači, který představuje potenciálový rozdíl snímáný oběma elektrody v určitém okamžiku. Surový výsledný záznam je u většiny přístrojů ve formě analogového signálu vysílán ze snímacích senzorů do vyhodnocovací jednotky, kde poté dojde k přeměně signálu na digitální. Přenos signálu je umožněn na vzdálenost několika metrů kabely nebo telemetricky. Výhodou telemetrického systému je, že pohyb pacienta není limitován kabely a pohybový projev je poté přirozenější (Hamill & Knutzen, 2003; Krobot & Kolářová, 2011).

### **2.5.2 Faktory a limity ovlivňující snímáný signál**

Jedním z problémů hodnocení pomocí SEMG je inter- a intra- individuální variabilita lidského organismu. Během svalové kontrakce se mění počet a typ aktivních motorických jednotek, nedochází tedy vždy k identickému náboru MJ. Variabilitu je možné minimalizovat standardizovanými podmínkami pro danou činnost, tedy přesně stanovená výchozí poloha, časový a prostorový průběh pohybu. Také může při snímání SEMG aktivity nastat komplikace změny polohy elektrod vůči snímané části svalu a také vyšší pocení, které způsobí zvýšený odpor mezi kůží a elektrodami a tím sníží stabilitu kontaktu. Také mohou vznikat pohybové artefakty, které mohou být minimalizovány použitím bezdrátového snímání (Krobot & Kolářová, 2011).

Řada faktorů ovlivňuje konečný elektromyografický signál. Mohou to být faktory vnější nebo vnitřní. Vnitřní faktory nelze vlastním snímáním ovlivnit a vycházejí z fyziologických, anatomických a biochemických vlastností svalu. Vnější faktory jsou ovlivnitelné a řadí se mezi ně například konfigurace a umístění elektrod. Tyto faktory poté určují kvalitu výsledného signálu (De Luca, 1997; Krobot & Kolářová, 2011)

### **Vnitřní faktory:**

- svalová aktivita měřeného svalu (vlastnosti aktivních svalových vláken, počet aktivních svalových vláken, umístění aktivních svalových vláken vůči elektrodě)
- aktivita okolních svalů – cross talk
- elektrická aktivita jiných tkání
- vlastnosti tkání mezi elektrodami a povrchem svalu
- další faktory (pH krve a intersticiálních tekutin, rychlost odstranění metabolitů)

### **Vnější faktory:**

- umístění elektrod
- vzdálenost a velikost elektrod
- kontakt mezi elektrodami a kůží
- externí šum (externí přístroje, pohybové artefakty ze snímacích kabelů)

Vždy by mělo být definováno přístrojové vybavení a využitý software. Dále charakteristiky elektrod, kdy elektrody bývají obvykle kruhové či obdélníkové. Doporučená maximální velikost vodivé plochy ve směru svalových vláken je do 10 mm. Podstatná je vzdálenost mezi elektrodami (IED - inter-electrode distance), kdy se nejčastěji doporučuje 20 mm. Před nalepením elektrod je vhodné provést úpravu kožního krytu pro zlepšení kontaktu mezi elektrodou a kůží, snížení impedance mezi elektrodou a kůží a pro lepší fixaci elektrody. Akceptovaná maximální kožní impedance je pod 10 k $\Omega$ . Lokalizace elektrod je obvykle definován geometrický střed snímače a obvykle je doporučován na střed břicha svalu s detekčním povrchem orientovaným kolmo k průběhu svalových vláken. Přesný popis lokalizace elektrod je nutný pro reprodukovatelnost experimentu. Vždy by také měla být definována výchozí poloha pacienta, pozice sledovaných segmentů a instrukce k pohybu (De Luca, 1997; Dupalová & Zaatar, 2015).

### **2.5.3 Hodnocení EMG signálu**

Nezpracovaný elektromyografický signál se nazývá surový záznam. Představuje interferenční vzorec akčních potenciálů, snímáný elektrodami. Tento záznam se skládá

z náhodně uspořádaných amplitud a není přesně reprodukovatelný. Nezbytné je další zpracování signálu k analyzování výstupních hodnot. Nejběžnější typ zpracování diferenciálně zesíleného elektromyografického signálu je frekvenční filtrace. Obvykle je používána frekvenční filtrace s horní propustí 10-20 Hz (high pass filtr) a dolní propustí 400-500 Hz (low pass filtr) s cílem odstranit signál, který nemá původ v aktivaci svalu, ale vzniká třeba jako pohybový artefakt. Signál svalů získaný pomocí SEMG má obvykle maximální rozložení v pásmu 50-150 Hz, šířka frekvenčního spektra je odlišná u různých svalů. Dále je signál zpracován rektifikací. Jedná se o matematickou úpravu EMG signálu, kdy se negativní hodnoty surového záznamu eliminují (half wave rectification), nebo se převrátí do pozitivních hodnot (full wave rectification). Rektifikovaný signál se i tak stále skládá z náhodně uspořádaných amplitud signálu, kdy při vyhlazení (smoothing) EMG signálu pomocí algoritmů například RMS (root mean square) nebo ARV (average rectified value) je zapotřebí vhodně zvolit velikost posuvného okna dle charakteru sledovaného pohybu. Dále je nutné provést normalizaci, aby bylo možné výsledné zpracované hodnoty EMG záznamu jednoho svalu porovnat při opakovaných měřeních mezi různými svaly a subjekty. Normalizace znamená vztažení naměřených parametrů k předem stanovené referenční hodnotě. Při zpracování EMG signálu je vhodné uvést délku trvání zpracovávaného signálu. Pro vyhodnocení pořadí zapojených svalů (timing) je nutné znát klidovou svalovou aktivitu (De Luca, 1997; Dupalová & Zaatar, 2015; Hamill & Knutzen, 2003; Krobot & Kolářová, 2011; Konrad, 2006).

Co se týče interpretace hodnocení, výsledky lze hodnotit z hlediska kvantitativního a kvalitativního. Obvyklé je vyjádření se k amplitudovým parametrům signálu (zda je sval elektricky aktivní či nikoli, zda je aktivní více či méně). Z časového hlediska je hodnocen timing (časová souslednost náboru svalů). Z frekvenčních parametrů lze vyvodit přítomnost svalové únavy (Dupalová & Zaatar, 2015).

#### **2.5.4 SEMG a svalová únava**

Únava se odráží v EMG signálu jako zvýšení jeho amplitudy a posunem frekvenčního spektra k nižším frekvencím (Kallenberg, Schulte, Disselhorst-Klug, & Hermens, 2007). Nárůst amplitudy je podle všeho způsoben zvýšenou prostorovou nebo časovou sumací akčních potenciálů nebo synchronizací výbojů. Jde o kompenzační mechanismus, aby nedošlo k poklesu síly (Hamill & Knutzen, 2003;



Krobot & Kolářová, 2011). Únavu je vhodné hodnotit mediánem frekvence, který je méně ovlivnitelný šumem a je více citlivý na biochemické a fyziologické změny (De Luca, 1997). Vzhledem k únavě se rozlišuje úroveň cvičení na intenzivní a submaximální. Během intenzivního cvičení dochází k poklesu síly i amplitudy v důsledku nahromadění K<sup>+</sup> iontů v intersticiu. Při cvičení na submaximální úrovni je elektrolytická rovnováha porušena a pokles síly je připisován vlivu tzv. neelektrických faktorů souvisejících s uvolněním Ca<sup>2+</sup> iontu a vazbou na troponin (Rodová, Mayer, & Janura, 2001).

### **2.5.5 Studie EMG**

Hojka & Raba (2015) vycházeli z faktu, že při dlouhotrvající izometrické kontrakci a vlivem únavy dochází ke změnám rozložení frekvenčního spektra a k nárůstu amplitudy v EMG signálu. Cílem jejich práce bylo popsat průběh parametrů EMG signálu v závislosti na rostoucí lokální svalové únavě. K tomu jim sloužil soubor 9 sportovců při cvičení dolních končetin na legpressu při submaximální zátěži. Studie prokázala, že s rostoucí únavou dochází k rekrutování většího počtu motorických jednotek a tedy i nárůstu amplitudy EMG. Také se potvrdilo, že vliv únavy se projeví v posunu frekvenčního spektra směrem k nižším frekvencím, což je patrné i při dynamických kontrakcích.

Elektromyografická aktivita měřená povrchově během maximální excentrické svalové práce je nižší než aktivita naměřená během koncentrických kontrakcí danou úhlovou rychlostí (Aagaard et al., 2000).

Předpokladem studie Watanabe, Kouzaki, & Moritani (2016) bylo, že umístění elektrod může být rozhodující ve výsledcích u povrchové elektromyografie. Studie zkoumala EMG odezvu na různých místech m. biceps femoris při maximálních izometrických kontrakcích (extenze v kyčelním kloubu a flexe v kolenním kloubu). Výsledky studie naznačují, že uložení elektrod není rozhodující v určování aktivity svalu, což u m. biceps femoris platí u 50% délky svalu.

## **2.6 Svalová síla u fotbalistů**

Fotbal je celosvětově populárním kontaktním sportem, který provozuje mnoho sportovců, ale ve kterém dochází často k muskuloskeletálním poraněním, zejména pak ischiokrurálních svalů a poranění předního zkříženého vazů. Je zapotřebí svalová

síla, která je důležitou komponentou kondice sportovců jak z hlediska sportovní výkonnosti, tak i jako prevence zranění. Ve fotbale se při specifických pohybech (sprinty, výskoky, osobní souboje, změny směru, kopy do míče) významně uplatňuje svalová síla flexorů a extenzorů kolenního kloubu. Příčiny zranění hamstringů a měkkých struktur kolenního kloubu jsou unilaterální a bilaterální asymetrie síly flexorů a extenzorů kolenního kloubu a bilaterální svalové dysbalance. Pro posuzování a identifikaci sportovců s rizikem zranění a k posouzení připravenosti k soutěžení se hodnotí poměr síly hamstringů a kvadricepsu (Aginski, Neophytou, & Charalambous, 2014; Cheung, Smith, & Wong, 2012; Lehnert, Chvojka, & Psotta, 2015).

Ve studii Aginski, Neophytou, & Charalambous (2014) posuzovali izokinetickou svalovou sílu hamstringů a kvadricepsu u 28 elitních fotbalistů. Došli k závěru, že tito fotbalisté měli dobrou silovou rovnováhu mezi hamstringy a quadricípsem, ačkoli se prezentovali lehkou funkční excentrickou slabostí a unavitelností hamstringů, což může v pozdější fázi zápasu způsobit zranění těchto svalů.

V přechodném období a na začátku přípravného období se zařazuje nespecifický trénink pro zvýšení maximální síly a explozivitu k přípravě svalů, vazů, šlach a kloubů pro nadcházející zatížení a kompenzaci individuálních nedostatků. Trénink síly se postupně stává více specifickým s tendencí zvyšování intenzity a síly na základě zlepšení nervosvalové koordinace a poté na uplatnění síly při specifických fotbalových pohybech. V průběhu soutěžního období je důležité udržet úroveň síly a hlavně u mladých fotbalistů ji dále zvyšovat. V tomto období však může docházet ke ztrátě některých adaptací a k jejímu poklesu (Lehnert, Chvojka, & Psotta, 2015).

Lehnert, Chvojka, & Psotta (2015) ve své studii došli k výsledkům, že v souboru mladých fotbalistů ve sledovaných obdobích ročního tréninkového cyklu nedošlo k žádoucím změnám síly kolenních flexorů a extenzorů a také, že je zde možnost narušení dynamické stabilizace kolenního kloubu.

Lehnert, Urban, Procházka, & Psotta (2011) hodnotili ve své studii přípravu vysoce trénovaných fotbalistů od 16 do 18 let co se týče izokinetické svalové síly flexorů a extenzorů kolenního kloubu. Došli k závěrům, že zvýšení rychlosti pohybu vede ke snížení izokinetické síly a také že svalová síla stoupá s věkem. Dále ukázali důležitost diagnostiky síly v průběhu dlouhodobé sportovní přípravy.

## 3 Cíle a hypotézy

### 3.1 Cíl diplomové práce

Cílem diplomové práce je zhodnotit aktivitu vybraných svalů dominantní dolní končetiny pomocí povrchového poly EMG během koncentrických a excentrických kontrakcí při izokinetickém režimu při úhlových rychlostech  $60^\circ/\text{s}$  a  $180^\circ/\text{s}$  u fotbalistů žákovských kategorií po skončení sezóny s porovnáním výsledků před zahájením sezóny.

### 3.2 Dílčí cíle

1. Hodnocení aktivity svalů podle ukazatele mean frekvence během koncentrické a excentrické kontrakce před a po absolvování únavového protokolu s porovnáním výsledků před zahájením sezóny.

2. Hodnocení aktivity svalů podle ukazatele mean amplitude během koncentrické a excentrické kontrakce před a po absolvování únavového protokolu s porovnáním výsledků před zahájením sezóny.

Dle stanovených cílů byly definovány hypotézy:

### 3.3 Hypotézy

H1: Existuje rozdíl ve výsledcích v aktivitě svalů dle ukazatele mean frekvence před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny během koncentrické kontrakce v úhlové rychlosti  $60^\circ/\text{s}$  a  $180^\circ/\text{s}$ .

H2: Existuje rozdíl ve výsledcích v aktivitě svalů dle ukazatele mean frekvence před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny během excentrické kontrakce v úhlové rychlosti  $60^\circ/\text{s}$  a  $180^\circ/\text{s}$ .

H3: Existuje rozdíl ve výsledcích v aktivitě svalů dle ukazatele mean amplitude před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny během koncentrické kontrakce v úhlové rychlosti  $60^\circ/\text{s}$  a  $180^\circ/\text{s}$ .

H4: Existuje rozdíl ve výsledcích v aktivitě svalů dle ukazatele mean amplitude před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny během excentrické kontrakce v úhlové rychlosti  $60^{\circ}/s$  a  $180^{\circ}/s$ .

H5: Existuje rozdíl ve výsledcích v aktivitě svalů dle ukazatele mean frekvence před zahájením a po skončení sezóny během koncentrické kontrakce v úhlové rychlosti  $60^{\circ}/s$  a  $180^{\circ}/s$ .

H6: Existuje rozdíl ve výsledcích v aktivitě svalů dle ukazatele mean frekvence před zahájením a po skončení sezóny během excentrické kontrakce v úhlové rychlosti  $60^{\circ}/s$  a  $180^{\circ}/s$ .

H7: Existuje rozdíl ve výsledcích v aktivitě svalů dle ukazatele mean amplitude před zahájením a po skončení sezóny během koncentrické kontrakce v úhlové rychlosti  $60^{\circ}/s$  a  $180^{\circ}/s$ .

H8: Existuje rozdíl ve výsledcích v aktivitě svalů dle ukazatele mean amplitude před zahájením a po skončení sezóny během excentrické kontrakce v úhlové rychlosti  $60^{\circ}/s$  a  $180^{\circ}/s$ .

## 4 METODIKA

### 4.1 Charakteristika výzkumného souboru

Výsledný testovaný soubor tvořilo 11 fotbalistů SK Sigma Olomouc žákovské kategorie. Výzkum byl schválen etickou komisí jako součást výzkumné práce doc. PaedDr. Michala Lehnerta pod názvem Únava a riziko zranění předního zkříženého vazů (ACL) u hráčů a hráček dorostenecké kategorie. Před zahájením výzkumu byli probandi seznámeni s obsahem a průběhem probíhající studie. Probandi také doložili informovaný souhlas podepsaný jejich zákonným zástupcem. Současně s tímto souhlasem obdrželi dotazník zjišťující preferenci dolní končetiny a prodělané úrazy nebo zdravotní komplikace, které by mohly ovlivnit výsledek studie.

### 4.2 Postup před měřením

#### 4.2.1 Technické podklady měření

Pro měření izokinetických kontrakcí byl použit přístroj IsoMed 2000 a elektromyografický přístroj NORAXON MyoSystem 1400A. Následné zpracování EMG signálu bylo provedeno pomocí programu MyoResearch XP Master Version 1.03.05. Ke snímání signálu byly použity povrchové jednorázové samolepící povrchové elektrody oválného tvaru firmy Kendall-ARBO silver-silver chlorid s pevným hydrogelem o průměru 24 mm. Signál byl snímán osmi svody o frekvenci 1000 Hz a s odporem poly-EMG přístroje  $> 10 \text{ M}\Omega$ .

#### 4.2.2 Umístění elektrod

Místo, kde se lepily elektrody, bylo omyto vodou a následně vysušeno. Elektrody se lepily na kůži do středu svalového břicha, paralelně s průběhem svalových vláken. Vzdálenost mezi elektrodami byla 1 cm. Referenční elektroda byla umístěna na tuberositas tibie, případně na spina iliaca anterior superior. Při druhém měření po absolvování únavového protokolu byly použity nové elektrody k dosažení co nejpřesnějšího měření a to do stejného místa původní elektrody, označeného obrysem hydrogelu. Svalová aktivita byla snímána na dominantní dolní končetině u těchto svalů: m. vastus medialis (VM), m. rectus femoris (RF), m. vastus lateralis

(VL), m. gastrocnemius medialis (GM), m. gastrocnemius lateralis (GL), m. semitendinosus (SM) a m. biceps femoris (BF).

### **4.3 Průběh měření**

Měření a snímání EMG signálu bylo prováděno v laboratoři FTK UP. Proband se po příchodu rozcvičil šlapáním na bicyklovém ergometru, trvající 6 minut. Poté prováděl stretching paravertebrální svalů a svalů dolních končetin. Probandovi byly nalepeny elektrody pro snímání EMG signálu, následovalo připojení k poly-EMG, usazení na přístroji IsoMed 2000. Proběhlo nastavení a uložení parametrů k eliminaci nepřesností v nastavení pro opakované měření (parametry pro nastavení výchozí pozice, fixačních prvků a pohyblivého ramene). Proband si na přístroji vyzkoušel koncentrickou i excentrickou kontrakci při různých úhlových rychlostech. Proběhla kontrola uchycení elektrod, kabelů a přesnost snímání signálu poly EMG.

Při měření se prováděla maximální volní koncentrická a excentrická kontrakce v úhlových rychlostech  $60^\circ/s$  a  $180^\circ/s$  a to ve 3 opakováních s 30s pauzami. Proband byl slovně motivován k podání co nejlepšího výkonu.

Po skončení prvního měření podstoupil proband pod odborným dohledem únavový protokol ve venkovním areálu FTK. Únavový protokol je časově upravenou verzí protokolu SAFT<sup>90</sup> (soccer-specific aerobic field test), který je validovaný Lovellem et al. (2010) a který odpovídá únavové odezvě po fotbalovém zápase (Small, McNaughton, Greig, & Lovell, 2010).

Po absolvování únavového protokolu se proband vrátil do laboratoře k okamžitému absolvování druhého měření.

## **4.4 Zpracování a vyhodnocování výsledků**

### **4.4.1 Analýza poly-EMG záznamu**

Pro analýzu poly-EMG záznamu byly naměřené hodnoty pro každý sval a rychlost pohybu rozděleny na fázi klidovou a fázi svalové aktivity. Z každého úseku se poté zjistila hodnota mean amplitude a mean frequency a to jak pro klidovou fázi, tak i pro fázi aktivity. Pro aktivní hodnoty byl použit záznam prvního pokusu. V případě nevydařeného prvního pokusu byl použit pokus druhý. Surový záznam byl následně upraven rektifikací a vyhlazením signálu. Dalším způsobem úpravy EMG signálu

je normalizace, která se uplatňuje při dynamických svalových činnostech. Parametry signálu jsou mean (průměrná hodnota amplitudy), peak (vrchol dané křivky), RMS (Root Mean Square - efektivní hodnota signálu), input - hodnota v procentech (Konrad, 2005; Rodová, Mayer, & Janura, 2001).

#### **4.4.2 Statistické zpracování dat**

Naměřená data byla přepsána do tabulek v programu Microsoft Excel a dále vložena do programu STATISTICA verze 12. Pro zjištění statisticky významného rozdílu byl použit t-test. Hladina statistické významnosti byla stanovena na hodnotu  $p < 0,05$ .

## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 Hypotéza H1

H1: Existuje rozdíl ve výsledcích v aktivitě svalů dle ukazatele mean frekvence před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny během koncentrické kontrakce v úhlové rychlosti 60°/s a 180°/s.

**Tabulka 1.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean frequency) mezi měřeními před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny během koncentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
60	GM 1 & GM 2	29,00000	0,355643	0,722108
60	GL 1 & GL 2	28,00000	0,444554	0,656642
60	ST 1 & ST 2	10,00000	2,044949	0,040861
60	BF 1 & BF 2	22,00000	0,978019	0,328066

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnná 1 - měření před únavovým protokolem

Proměnná 2 - měření po únavovém protokolu

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean frequency) jednotlivých svalů během koncentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. semitendinosus ( $p=0,04$ ). U ostatních vybraných svalů nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině  $p<0,05$  (tabulka 1).



**Tabulka 2.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean frequency) mezi měřeními před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny během koncentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
180	GM 1 & GM 2	28,00000	0,444554	0,656642
180	GL 1 & GL 2	16,00000	1,511484	0,130666
180	ST 1 & ST 2	20,00000	1,155841	0,247747
180	BF 1 & BF 2	19,00000	1,244752	0,213224

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnná 1 - měření před únavovým protokolem

Proměnná 2 - měření po únavovém protokolu

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean frequency) vybraných svalů během koncentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny nebyl prokázán statisticky významný rozdíl na hladině  $p < 0,05$  v t-testu (Tabulka 2).

**Tabulka 3.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean frequency) mezi měřeními před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 60°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
60	RF 1 & RF 2	8,000000	2,222771	0,026232
60	VM 1 & VM 2	24,00000	0,800198	0,423597

60	VL 1 & VL 2	5,000000	2,489504	0,012793
----	-------------	----------	----------	----------

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnná 1 - měření před únavovým protokolem

Proměnná 2 - měření po únavovém protokolu

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean frequency) jednotlivých svalů během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 60°/s před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. rectus femoris (p=0,02) a m. vastus lateralis (p=0,01). U ostatních vybraných svalů nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině p<0,05 (Tabulka 3).

**Tabulka 4.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean frequency) mezi měřeními před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 180°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
180	RF 1 & RF 2	12,00000	1,867128	0,061885
180	VM 1 & VM 2	22,00000	0,978019	0,328066
180	VL 1 & VL 2	9,000000	2,133860	0,032855

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnná 1 - měření před únavovým protokolem

Proměnná 2 - měření po únavovém protokolu

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean frequency) jednotlivých svalů během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 180°/s před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. vastus lateralis ( $p=0,03$ ). U ostatních vybraných svalů nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině  $p<0,05$  (Tabulka 4).

**Na základě statistického zpracování výsledků byla hypotéza H1 přijata.**

## 5.2 Hypotéza H2

H2: Existuje rozdíl ve výsledcích v aktivitě svalů dle ukazatele mean frekvence před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny během excentrické kontrakce v úhlové rychlosti 60°/s a 180°/s.

**Tabulka 5.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean frequency) mezi měřeními před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny během excentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
60	GM 1 & GM 2	11,00000	1,956039	0,050461
60	GL 1 & GL 2	6,000000	2,400593	0,016369
60	ST 1 & ST 2	17,00000	1,422574	0,154861
60	BF 1 & BF 2	24,00000	0,800198	0,423597

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnná 1 - měření před únavovým protokolem

Proměnná 2 - měření po únavovém protokolu

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean frequency) jednotlivých svalů během excentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. gastrocnemius lateralis ( $p=0,01$ ). U ostatních vybraných svalů nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině  $p<0,05$  (Tabulka 5).

**Tabulka 6.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean frequency) mezi měřeními před a po absolvování po skončení sezóny únavového protokolu po skončení sezóny během excentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
180	GM 1 & GM 2	8,000000	2,222771	0,026232
180	GL 1 & GL 2	0,00	2,934058	0,003346
180	ST 1 & ST 2	26,00000	0,622376	0,533695
180	BF 1 & BF 2	15,00000	1,600395	0,109512

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnná 1 - měření před únavovým protokolem

Proměnná 2 - měření po únavovém protokolu

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean frequency) jednotlivých svalů během excentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. gastrocnemius medialis ( $p=0,02$ ) a m. gastrocnemius lateralis ( $p=0,003$ ). U ostatních vybraných svalů nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině  $p<0,05$  (Tabulka 6).

**Na základě statistického zpracování výsledků byla hypotéza H2 přijata.**

### 5.3 Hypotéza H3

H3: Existuje rozdíl ve výsledcích v aktivitě svalů dle ukazatele mean amplitude před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny během koncentrické kontrakce v úhlové rychlosti 60°/s a 180°/s.

**Tabulka 7.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean amplitude) mezi měřením před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny během koncentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
60	GM 1 & GM 2	20,00000	1,155841	0,247747
60	GL 1 & GL 2	29,00000	0,355643	0,722108
60	ST 1 & ST 2	31,00000	0,177822	0,177822
60	BF 1 & BF 2	29,00000	0,355643	0,722108

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnná 1 - měření před únavovým protokolem

Proměnná 2 - měření po únavovém protokolu

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean amplitude) jednotlivých svalů během koncentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny nebyl prokázán statisticky významný rozdíl na hladině  $p < 0,05$  v t-testu (tabulka 7).

**Tabulka 8.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean amplitude) mezi měřením před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny během koncentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
180	GM 1 & GM 2	23,00000	0,889108	0,373945
180	GL 1 & GL 2	27,00000	0,533465	0,593712
180	ST 1 & ST 2	25,00000	0,711287	0,476907
180	BF 1 & BF 2	30,00000	0,266733	0,789675

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnná 1 - měření před únavovým protokolem

Proměnná 2 - měření po únavovém protokolu

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean amplitude) vybraných svalů během koncentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny nebyl prokázán statisticky významný rozdíl na hladině  $p < 0,05$  v t-testu (Tabulka 8).

**Tabulka 9.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean amplitude) mezi měřeními před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 60°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
60	RF 1 & RF 2	10,00000	2,044949	0,040861
60	VM 1 & VM 2	27,00000	27,00000	0,593712
60	VL 1 & VL 2	16,00000	1,511484	0,130666

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnná 1 - měření před únavovým protokolem

Proměnná 2 - měření po únavovém protokolu

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean amplitude) jednotlivých svalů během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 60°/s před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. rectus femoris (p=0,04). U ostatních vybraných svalů nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině p<0,05 (Tabulka 9).

**Tabulka 10.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean amplitude) mezi měřeními před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 180°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
180	RF 1 & RF 2	21,00000	1,066930	0,286004
180	VM 1 & VM 2	22,00000	0,978019	0,328066
180	VL 1 & VL 2	21,00000	1,066930	0,286004

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnná 1 - měření před únavovým protokolem

Proměnná 2 - měření po únavovém protokolu

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean amplitude) jednotlivých svalů během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 180°/s před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině p<0,05 (Tabulka 10).



**Na základě statistického zpracování výsledků byla hypotéza H3 přijata.**

## 5.4 Hypotéza H4

H4: Existuje rozdíl ve výsledcích v aktivitě svalů dle ukazatele mean amplitude před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny během excentrické kontrakce v úhlové rychlosti 60°/s a 180°/s.

**Tabulka 11.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean amplitude) mezi měřeními před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny během excentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
60	GM 1 & GM 2	9,000000	2,133860	0,032855
60	GL 1 & GL 2	9,000000	2,133860	0,032855
60	ST 1 & ST 2	26,00000	0,622376	0,533695
60	BF 1 & BF 2	32,00000	0,088911	0,929153

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnná 1 - měření před únavovým protokolem

Proměnná 2 - měření po únavovém protokolu

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean amplitude) jednotlivých svalů během excentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. gastrocnemius medialis (p=0,03) a m. gastrocnemius lateralis (p=0,03). U ostatních vybraných svalů nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině p<0,05 (Tabulka 11).

**Tabulka 12.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean amplitude) mezi měřeními před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny během excentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
180	GM 1 & GM 2	8,000000	2,222771	0,026232
180	GL 1 & GL 2	15,00000	1,600395	0,109512
180	ST 1 & ST 2	31,00000	0,177822	0,858863
180	BF 1 & BF 2	14,00000	1,689306	0,091162

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnná 1 - měření před únavovým protokolem

Proměnná 2 - měření po únavovém protokolu

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean amplitude) jednotlivých svalů během excentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s před a po absolvování únavového protokolu po skončení sezóny byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. gastrocnemius medialis ( $p=0,02$ ). U ostatních vybraných svalů nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině  $p<0,05$  (Tabulka 12).

**Na základě statistického zpracování výsledků byla hypotéza H4 přijata.**

## 5.5 Hypotéza H5

H1: Existuje rozdíl ve výsledcích v aktivitě svalů dle ukazatele mean frekvence před zahájením a po skončení sezóny během koncentrické kontrakce v úhlové rychlosti 60°/s a 180°/s.

**Tabulka 13.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean frequency) mezi měřením před začátkem a po konci sezóny před absolvováním únavového protokolu během koncentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
60	GM 1 & GM 1	13,00000	1,125463	0,260394
60	GL 1 & GL 1	9,000000	1,599342	0,109746
60	ST 1 & ST 1	15,00000	0,888523	0,374260
60	BF 1 & BF 1	22,00000	0,978019	0,328066

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnné 1 - měření před únavovým protokolem (před a po konci sezóny)

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean frequency) jednotlivých svalů mezi měřeními před začátkem a po konci sezóny během koncentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s před absolvováním únavového protokolu nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině  $p < 0,05$  (tabulka 13).

**Tabulka 14.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean frequency) mezi měřením před začátkem a po konci sezóny před absolvováním únavového protokolu během koncentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
180	GM 1 & GM 1	20,00000	0,296174	0,767097
180	GL 1 & GL 1	9,000000	1,599342	0,109746
180	ST 1 & ST 1	4,000000	2,191691	0,028403
180	BF 1 & BF 1	19,00000	1,244752	0,213224

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnné 1 - měření před únavovým protokolem (před a po konci sezóny)

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean frequency) jednotlivých svalů mezi měřeními před začátkem a po konci sezóny během koncentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s před absolvováním únavového protokolu byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. semitendinosus ( $p=0,02$ ). U ostatních vybraných svalů nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině  $p<0,05$  (tabulka 14).

**Tabulka 15.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean frequency) mezi měřeními před začátkem a po konci sezóny před absolvováním únavového protokolu během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 60°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
60	RF 1 & RF 1	14,00000	1,006993	0,313939
60	VM 1 & VM 1	7,000000	1,836282	0,066317
60	VL 1 & VL 1	5,000000	2,073221	0,038153

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnné 1 - měření před únavovým protokolem (před a po konci sezóny)

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean frequency) jednotlivých svalů mezi měřeními před začátkem a po konci sezóny během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 60°/s před absolvováním únavového protokolu byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. vastus lateralis (p=0,03). U ostatních vybraných svalů nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině p<0,05 (tabulka 15).

**Tabulka 16.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean frequency) mezi měřeními před začátkem a po konci sezóny před absolvováním únavového protokolu během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 180°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
180	RF 1 & RF 1	7,000000	1,836282	0,066317
180	VM 1 & VM 1	1,000000	2,547100	0,010863
180	VL 1 & VL 1	6,000000	1,954751	0,050613

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnné 1 - měření před únavovým protokolem (před a po konci sezóny)

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean frequency) jednotlivých svalů mezi měřeními před začátkem a po konci sezóny během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 180°/s před absolvováním únavového protokolu byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. vastus medialis (p=0,01). U ostatních vybraných svalů nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině p<0,05 (tabulka 16).

**Tabulka 17.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean frequency) mezi měřeními před začátkem a po konci sezóny po absolvování únavového protokolu během koncentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
60	GM 2 & GM 2	16,00000	0,770054	0,441269
60	GL 2 & GL 2	9,000000	1,599342	0,109746
60	ST 2 & ST 2	3,000000	2,310161	0,020880
60	BF 2 & BF 2	3,000000	2,310161	0,020880

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnné 2 - měření po únavovém protokolu (před a po konci sezóny)

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean frequency) jednotlivých svalů mezi měřeními před začátkem a po konci sezóny během koncentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s po absolvování únavového protokolu byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. semitendinosus ( $p=0,02$ ) a m. biceps femoris ( $p=0,02$ ). U ostatních vybraných svalů nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině  $p<0,05$  (tabulka 17).

**Tabulka 18.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean frequency) mezi měřeními před začátkem a po konci sezóny po absolvování únavového protokolu během koncentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
180	GM 2 & GM 2	11,00000	1,362402	0,173072
180	GL 2 & GL 2	11,00000	1,362402	0,173072

180	ST 2 & ST 2	5,000000	2,073221	0,038153
180	BF 2 & BF 2	20,00000	0,296174	0,767097

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnné 2 - měření po únavovém protokolu (před a po konci sezóny)

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean frequency) jednotlivých svalů mezi měřeními před začátkem a po konci sezóny během koncentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s po absolvování únavového protokolu byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. semitendinosus ( $p=0,03$ ). U ostatních vybraných svalů nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině  $p<0,05$  (tabulka 18).

**Tabulka 19.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean frequency) mezi měřeními před začátkem a po konci sezóny po absolvování únavového protokolu během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 60°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
60	RF 2 & RF 2	0,00	2,665570	0,007686
60	VM 2 & VM 2	8,000000	1,717812	0,085832
60	VL 2 & VL 2	0,00	2,665570	0,007686

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnné 2 - měření po únavovém protokolu (před a po konci sezóny)

p - hodnota statisticky významného rozdílu



Při porovnání aktivity (hodnota mean frequency) jednotlivých svalů mezi měření před začátkem a po konci sezóny během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 60°/s po absolvování únavového protokolu byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. rectus femoris (p=0,007) a m. vastus lateralis (p=0,007). U ostatních vybraných svalů nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině  $p < 0,05$  (tabulka 19).

**Tabulka 20.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean frequency) mezi měření před začátkem a po konci sezóny po absolvování únavového protokolu během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 180°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
180	RF 2 & RF 2	1,000000	2,547100	0,010863
180	VM 2 & VM 2	0,00	2,665570	0,007686
180	VL 2 & VL 2	0,00	2,665570	0,007686

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnné 2 - měření po únavovém protokolu (před a po konci sezóny)

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean frequency) jednotlivých svalů mezi měření před začátkem a po konci sezóny během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 180°/s po absolvování únavového protokolu byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. rectus femoris (p=0,01) a m. vastus medialis (p=0,007) a m vastus lateralis (p=0,007) na hladině  $p < 0,05$  (tabulka 20).

**Na základě statistického zpracování výsledků byla hypotéza H5 přijata.**

## 5.6 Hypotéza H6

H2: Existuje rozdíl ve výsledcích v aktivitě svalů dle ukazatele mean frekvence před zahájením a po skončení sezóny během excentrické kontrakce v úhlové rychlosti 60°/s a 180°/s.

**Tabulka 21.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean frequency) mezi měřeními před začátkem a po konci sezóny před absolvováním únavového protokolu během excentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
60	GM 1 & GM 1	10,00000	1,480872	0,138642
60	GL 1 & GL 1	9,000000	1,599342	0,109746
60	ST 1 & ST 1	4,000000	2,191691	0,028403
60	BF 1 & BF 1	24,00000	0,800198	0,423597

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnné 1 - měření před únavovým protokolem (před a po konci sezóny)

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean frequency) jednotlivých svalů mezi měřeními před začátkem a po konci sezóny během excentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s před absolvováním únavového protokolu byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. semitendinosus ( $p=0,02$ ). U ostatních vybraných svalů nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině  $p<0,05$  (tabulka 21).

**Tabulka 22.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean frequency) mezi měřeními před začátkem a po konci sezóny před absolvováním únavového protokolu během excentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
180	GM 1 & GM 1	19,00000	0,414644	0,678403
180	GL 1 & GL 1	18,00000	0,533114	0,593955
180	ST 1 & ST 1	17,00000	0,651584	0,514670
180	BF 1 & BF 1	15,00000	1,600395	0,109512

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnné 1 - měření před únavovým protokolem (před a po konci sezóny)

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean frequency) jednotlivých svalů mezi měřením před začátkem a po konci sezóny během excentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s před absolvováním únavového protokolu nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině  $p < 0,05$  (tabulka 22).

**Tabulka 23.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean frequency) mezi měřením před začátkem a po konci sezóny po absolvování únavového protokolu během excentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
60	GM 2 & GM 2	1,000000	2,547100	0,010863
60	GL 2 & GL 2	3,000000	2,310161	0,020880
60	ST 2 & ST 2	2,000000	2,428630	0,015157
60	BF 2 & BF 2	7,000000	1,836282	0,066317

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnné 2 - měření po únavovém protokolu (před a po konci sezóny)

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean frequency) jednotlivých svalů mezi měřením před začátkem a po konci sezóny během excentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s po absolvování únavového protokolu byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. gastrocnemius medialis (p=0,01), m. gastrocnemius lateralis (p=0,02) a m. semitendinosus (p=0,01). U m. biceps femoris nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině p<0,05 (tabulka 23).

**Tabulka 24.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean frequency) mezi měřením před začátkem a po konci sezóny po absolvování únavového protokolu během excentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
180	GM 2 & GM 2	4,000000	2,191691	0,028403
180	GL 2 & GL 2	2,000000	2,428630	0,015157
180	ST 2 & ST 2	1,000000	2,547100	0,010863
180	BF 2 & BF 2	9,000000	1,599342	0,109746

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnné 2 - měření po únavovém protokolu (před a po konci sezóny)

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean frequency) jednotlivých svalů mezi měřením před začátkem a po konci sezóny během excentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s po absolvování únavového protokolu byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. gastrocnemius medialis (p=0,02), m. gastrocnemius lateralis

( $p=0,01$ ) a m. semitendinosus ( $p=0,01$ ). U m. biceps femoris nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině  $p<0,05$  (tabulka 24).

**Na základě statistického zpracování výsledků byla hypotéza H6 přijata.**

## 5.7 Hypotéza H7

H3: Existuje rozdíl ve výsledcích v aktivitě svalů dle ukazatele mean amplitude před zahájením a po skončení sezóny během koncentrické kontrakce v úhlové rychlosti 60°/s a 180°/s.

**Tabulka 25.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean amplitude) mezi měřením před začátkem a po konci sezóny před absolvováním únavového protokolu během koncentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
60	GM 1 & GM 1	20,00000	0,296174	0,767097
60	GL 1 & GL 1	17,00000	0,651584	0,514670
60	ST 1 & ST 1	15,00000	0,888523	0,888523
60	BF 1 & BF 1	19,00000	0,414644	0,678403

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnné 1 - měření před únavovým protokolem (před a po konci sezóny)

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean amplitude) jednotlivých svalů mezi měřením před začátkem a po konci sezóny během koncentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s před absolvováním únavového protokolu nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině  $p < 0,05$  (tabulka 25).

**Tabulka 26.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean amplitude) mezi měřením před začátkem a po konci sezóny před absolvováním únavového protokolu během koncentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
180	GM 1 & GM 1	20,00000	0,296174	0,767097
180	GL 1 & GL 1	20,00000	0,296174	0,767097
180	ST 1 & ST 1	6,000000	1,954751	0,050613
180	BF 1 & BF 1	13,00000	1,125463	0,260394

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnné 1 - měření před únavovým protokolem (před a po konci sezóny)

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean amplitude) jednotlivých svalů mezi měření před začátkem a po konci sezóny během koncentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s před absolvováním únavového protokolu nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině  $p < 0,05$  (tabulka 26).

**Tabulka 27.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean amplitude) mezi měření před začátkem a po konci sezóny před absolvováním únavového protokolu během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 60°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
60	RF 1 & RF 1	6,000000	1,954751	0,050613
60	VM 1 & VM 1	17,00000	0,651584	0,514670
60	VL 1 & VL 1	11,00000	1,362402	0,173072

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnné 1 - měření před únavovým protokolem (před a po konci sezóny)

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean amplitude) jednotlivých svalů mezi měřením před začátkem a po konci sezóny během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 60°/s před absolvováním únavového protokolu nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině  $p < 0,05$  (tabulka 27).

**Tabulka 28.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean amplitude) mezi měřením před začátkem a po konci sezóny před absolvováním únavového protokolu během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 180°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
180	RF 1 & RF 1	5,000000	2,073221	0,038153
180	VM 1 & VM 1	8,000000	1,717812	0,085832
180	VL 1 & VL 1	10,000000	1,480872	0,138642

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnné 1 - měření před únavovým protokolem (před a po konci sezóny)

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean amplitude) jednotlivých svalů mezi měřením před začátkem a po konci sezóny během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 180°/s před absolvováním únavového protokolu byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. rectus femoris ( $p=0,03$ ). U ostatních vybraných svalů nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině  $p < 0,05$  (tabulka 28).



**Tabulka 29.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean amplitude) mezi měřením před začátkem a po konci sezóny po absolvování únavového protokolu během koncentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
60	GM 2 & GM 2	14,00000	1,006993	0,313939
60	GL 2 & GL 2	20,00000	0,296174	0,767097
60	ST 2 & ST 2	17,00000	0,651584	0,514670
60	BF 2 & BF 2	21,00000	0,177705	0,858955

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnné 2 - měření po únavovém protokolu (před a po konci sezóny)

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean amplitude) jednotlivých svalů mezi měřením před začátkem a po konci sezóny během koncentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s po absolvování únavového protokolu nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině  $p < 0,05$  (tabulka 29).

**Tabulka 30.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean amplitude) mezi měřením před začátkem a po konci sezóny po absolvování únavového protokolu během koncentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
180	GM 2 & GM 2	16,00000	0,770054	0,441269
180	GL 2 & GL 2	13,00000	1,125463	0,260394
180	ST 2 & ST 2	18,00000	0,533114	0,593955
180	BF 2 & BF 2	14,00000	1,006993	0,313939

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnné 2 - měření po únavovém protokolu (před a po konci sezóny)

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean amplitude) jednotlivých svalů mezi měřením před začátkem a po konci sezóny během koncentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s po absolvování únavového protokolu nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině  $p < 0,05$  (tabulka 30).

**Tabulka 31.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean amplitude) mezi měřením před začátkem a po konci sezóny po absolvování únavového protokolu během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 60°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
60	RF 2 & RF 2	4,000000	2,191691	0,028403
60	VM 2 & VM 2	12,000000	1,243933	0,213525
60	VL 2 & VL 2	8,000000	1,717812	0,085832

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnné 2 - měření po únavovém protokolu (před a po konci sezóny)

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean amplitude) jednotlivých svalů mezi měřením před začátkem a po konci sezóny během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 60°/s po absolvování únavového protokolu byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. rectus femoris ( $p=0,02$ ). U ostatních vybraných svalů nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině  $p < 0,05$  (tabulka 31).

**Tabulka 32.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean amplitude) mezi měřením před začátkem a po konci sezóny po absolvování únavového protokolu během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 180°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
180	RF 2 & RF 2	7,000000	1,836282	0,066317
180	VM 2 & VM 2	5,000000	2,073221	0,038153
180	VL 2 & VL 2	7,000000	1,836282	0,066317

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnné 2 - měření po únavovém protokolu (před a po konci sezóny)

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean amplitude) jednotlivých svalů mezi měřením před začátkem a po konci sezóny během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 180°/s po absolvování únavového protokolu byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. vastus medialis ( $p=0,03$ ). U ostatních vybraných svalů nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině  $p<0,05$  (tabulka 32).

**Na základě statistického zpracování výsledků byla hypotéza H7 přijata.**

## 5.8 Hypotéza H8

H4: Existuje rozdíl ve výsledcích v aktivitě svalů dle ukazatele mean amplitude před zahájením a po skončení sezóny během excentrické kontrakce v úhlové rychlosti 60°/s a 180°/s.

**Tabulka 33.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean amplitude) mezi měřením před začátkem a po konci sezóny před absolvováním únavového protokolu během excentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
60	GM 1 & GM 1	11,00000	1,362402	0,173072
60	GL 1 & GL 1	12,00000	1,243933	0,213525
60	ST 1 & ST 1	7,000000	1,836282	0,066317
60	BF 1 & BF 1	8,000000	1,717812	0,085832

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnné 1 - měření před únavovým protokolem (před a po konci sezóny)

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean amplitude) jednotlivých svalů mezi měřením před začátkem a po konci sezóny během excentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s před absolvováním únavového protokolu nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině  $p < 0,05$  (tabulka 33).

**Tabulka 34.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean amplitude) mezi měřením před začátkem a po konci sezóny před absolvováním únavového protokolu během excentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
180	GM 1 & GM 1	19,00000	0,414644	0,678403
180	GL 1 & GL 1	20,00000	0,296174	0,767097
180	ST 1 & ST 1	17,00000	0,651584	0,514670
180	BF 1 & BF 1	16,00000	0,770054	0,441269

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnné 1 - měření před únavovým protokolem (před a po konci sezóny)

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean amplitude) jednotlivých svalů mezi měření před začátkem a po konci sezóny během excentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s před absolvováním únavového protokolu nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině  $p < 0,05$  (tabulka 34).

**Tabulka 35.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean amplitude) mezi měření před začátkem a po konci sezóny po absolvování únavového protokolu během excentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
60	GM 2 & GM 2	0,00	2,665570	0,007686
60	GL 2 & GL 2	5,000000	2,073221	0,038153
60	ST 2 & ST 2	7,000000	1,836282	0,066317
60	BF 2 & BF 2	11,00000	1,362402	0,173072

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnné 2 - měření po únavovém protokolu (před a po konci sezóny)

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean amplitude) jednotlivých svalů mezi měřením před začátkem a po konci sezóny během excentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s po absolvování únavového protokolu byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. gastrocnemius medialis (p=0,007) a m. gastrocnemius lateralis (p=0,03). U ostatních vybraných svalů nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině p<0,05 (tabulka 35).

**Tabulka 36.** Porovnání aktivity svalů (hodnota mean amplitude) mezi měřením před začátkem a po konci sezóny po absolvování únavového protokolu během excentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s.

Rychlost	Proměnné	T	Z	p
180	GM 2 & GM 2	11,00000	1,362402	0,173072
180	GL 2 & GL 2	2,000000	2,428630	0,015157
180	ST 2 & ST 2	14,00000	1,006993	0,313939
180	BF 2 & BF 2	14,00000	1,006993	0,313939

*Vysvětlivky:*

Rychlost - úhlová rychlost (°/s)

Proměnné 2 - měření po únavovém protokolu (před a po konci sezóny)

p - hodnota statisticky významného rozdílu

Při porovnání aktivity (hodnota mean amplitude) jednotlivých svalů mezi měřením před začátkem a po konci sezóny během excentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s po absolvování únavového protokolu byl v t-testu prokázán statisticky

významný rozdíl u m. gastrocnemius lateralis ( $p=0,01$ ). U ostatních vybraných svalů nebyl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl na hladině  $p<0,05$  (tabulka 36).

**Na základě statistického zpracování výsledků byla hypotéza H8 přijata.**

## 6 DISKUZE

Tato práce hodnotila prostřednictvím povrchové elektromyografie rozdíly v aktivaci vybraných svalů dominantní dolní končetiny před a po absolvování únavového protokolu během koncentrických a excentrických kontrakcí při izokinetickém režimu při úhlových rychlostech 60°/s a 180°/s u fotbalistů žákovských kategorií po skončení sezóny s porovnáním výsledků před zahájením sezóny.

Ve fotbale se při specifických pohybech (sprinty, výskoky, osobní souboje, změny směru, kopy do míče) významně uplatňuje svalová síla flexorů a extenzorů kolenního kloubu. Asymetrie síly flexorů a extenzorů kolenního kloubu a bilaterální svalové dysbalance jsou příčinou zranění hamstringů a měkkých struktur kolenního kloubu. Pro posuzování rizika zranění a připravenosti k soutěžení se hodnotí poměr síly hamstringů a kvadricepsu (Alertorn-Geli, et al., 2015; Aginski, Neophytou, & Charalambous, 2014; Cheung, Smith, & Wong, 2012; Lehnert, Chvojka, & Psotta, 2015). Ve fotbale je přetržení předního zkříženého vazů (ACL) běžným poraněním a také může ukončit kariéru fotbalisty (Sandon, Werner, & Forssblad, 2015). Svalová únava způsobuje horší stabilitu kolenního kloubu a je jedním z rizikových faktorů vzniku poranění ACL (De Ste Croix, Priestley, Lloyd, & Oliver, 2015). Konečným produktem anaerobní reakce je laktát, který se ukládá ve svalech. Pokud je jeho produkce příliš velká a dlouhodobá, hromadí se i H<sup>+</sup>, kdy může vznikat až laktacidóza. To je spojeno s únavou. Projevuje se i kyslíkový dluh, který je pak uhrazen vyšší spotřebou kyslíku po skončení zátěže, sloužící k regeneraci zásob a odbourávání laktátu v játrech a srdci (Naňka & Elišková, 2015; Rokyta et al., 2015; Silbernagl & Despopoulos, 1993). Termín svalová únava se používá k označení přechodného snížení schopnosti vykonávat fyzické činnosti. Odkazuje na deficit řízení, percepce nebo pokles mentální funkce. To může znamenat postupné snížení kapacity svalové energie nebo konec trvající činnosti a dále pak pokles svalové síly nebo vyčerpání kontraktilní funkce (Enoka & Duchateau, 2008). Příčinou únavových periferních změn i celého organismu je intenzivně probíhající energetický metabolismus v buňkách kosterních svalů. Dochází k vyčerpání zdrojů energie (ATP, CP, glukóza, volné mastné kyseliny, atd.), hromadění produktů energetického metabolismu (vodíkových kationtů, kyslíkových volných radikálů), nedostatku enzymů (laktát-dehydrogenáza, kreatin-



kináza, aj.), přesunům a ztrátám iontů ( $K^+$ ,  $Na^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Cl^-$ , atd.), přesunům a ztrátám vody a hromadění tepla. U delších vytrvalostních výkonů se přidává složka mentální (centrální) únavy (Novotný, 2013; Shei & Mickleborough, 2013). Rebai et al. (2012) uvádí, že přítomnost svalové únavy je rozdílná v závislosti na režimu svalové kontrakce.

Přístrojová elektronická technologie pro záznam a analýzu bioelektrických potenciálů, které reflektují kontrakční aktivity kosterních svalů během určitého pohybu, se nazývá polyEMG (SEMG, povrchová elektromyografie). Hlavní klinickou užitečností SEMG je možnost objektivně a reprodukovatelně analyzovat pohyb a funkční pohybové poruchy (Konrad, 2006; Krobot & Kolářová, 2011). Hojka & Raba (2015) vycházeli z faktu, že při dlouhotrvající izometrické kontrakci a vlivem únavy dochází ke změnám rozložení frekvenčního spektra a k nárůstu amplitudy v EMG signálu. Cílem jejich práce bylo popsat průběh parametrů EMG signálu v závislosti na rostoucí lokální svalové únavě. Došli k závěru, že s rostoucí únavou dochází k rekrutování většího počtu motorických jednotek a tedy i nárůstu amplitudy EMG. Také se potvrdilo, že vliv únavy se projeví v posunu frekvenčního spektra směrem k nižším frekvencím, což je patrné i při dynamických kontrakcích. Únava se odráží v EMG signálu jako zvýšení jeho amplitudy a posunem frekvenčního spektra k nižším frekvencím (Kallenberg, Schulte, Disselhorst-Klug, & Hermens, 2007). Nárůst amplitudy je podle všeho způsoben zvýšenou prostorovou nebo časovou sumací akčních potenciálů nebo synchronizací výbojů. Jde o kompenzační mechanismus, aby nedošlo k poklesu síly (Hamill & Knutzen, 2003; Krobot & Kolářová, 2011).

Metodou k hodnocení svalové únavy je izokinetická dynamometrie, která hodnotí poměry momentů maximální síly například mezi hamstringy a m. quadriceps femoris (H/Q poměr) (Greco, da Silva, Camarda & Denadai, 2013; Whiteley et al., 2012), nebo například sílu svalů kyčelního kloubu (Fulcher, Hanna, Elley, 2010). Izokinetická dynamometrie je stále považována za zlatý standard. Široká akceptace a uplatnění této metody vyplývá z vysoké reprodukovatelnosti naměřených výsledků (Dirnberger, Huber, Hoop, Kösters, & Müller, 2013).

V rámci výzkumného projektu doc. PaedDr. Michala Lehnerta pod názvem Únava a riziko zranění předního zkříženého vazů (ACL) u hráčů a hráček dorostenecké kategorie již byly provedeny tři studie související s naší prací. Lerchová (2014) hodnotila aktivitu vybraných svalů dolní končetiny pomocí poly-EMG během

koncentrické kontrakce před a po zátěži u mladých fotbalistů. Metodologický postup probíhal shodně s naším postupem, ale rozdíl byl v měřených úhlových rychlostech (60°/s, 120°/s, 180°/s) a také ve statistickém zpracování dat s použitím Scheffeho a LSD testu. Z jejich výsledků lze u parametru mean amplitude (svalová aktivita) vidět na hladině statistické významnosti ( $p < 0,05$ ) významné změny pouze v úhlové rychlosti 120°/s. U parametru mean frekvence (přítomnost únavy) se nejvíce významných změn objevilo v úhlové rychlosti 60°/s (u všech osmi měřených svalů), tedy se snižující se úhlovou rychlostí je znát vyšší únava.

Dosoudilová (2014) také hodnotila aktivitu svalů před a po zátěži u fotbalistů žákovských kategorií, ale během excentrické kontrakce. Její výsledky prokázaly na hladině statistické významnosti ( $p < 0,05$ ) u parametru mean amplitude změnu pouze u m. semitendinosus v úhlové rychlosti 60°/s a m. rectus femoris v úhlové rychlosti 180°/s. Parametr mean frekvence ukázal statisticky významné změny u různých svalů ve všech měřených úhlových rychlostech, nejvýraznější pak v úhlové rychlosti 60°/s.

Výsledky Lerchové (2014) a Dosoudilové (2014) nám tedy ukazují negativní vliv únavy na aktivitu vybraných svalů dominantní dolní končetiny.

S naším výzkumem nejvíce souvisí práce Fialové (2016), která hodnotila aktivitu vybraných svalů dominantní dolní končetiny během koncentrické a excentrické kontrakce před a po absolvování únavového protokolu u fotbalistů žákovských kategorií před začátkem sezóny. I když v její práci nacházíme úhlové rychlosti 60°/s a 120°/s, má se jednat o rychlosti 60°/s a 180°/s. Naše práce porovnává její výsledky, které byly měřeny před začátkem sezóny, s našimi výsledky, které byly měřeny po skončení sezóny. Její výsledky objevily statisticky významný rozdíl pouze v parametru mean amplitude u m. rectus femoris během koncentrické kontrakce v úhlové rychlosti 180°/s ( $p = 0,009$ ). Únava pak podle jejích výsledků neměla významný vliv na aktivitu ostatních svalů dolní končetiny.

Porovnání našich výsledků před a po absolvování únavového protokolu prokázalo několik statisticky významných rozdílů. Při porovnání aktivity (hodnota mean frequency) jednotlivých svalů během koncentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s před a po absolvování únavového protokolu byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. semitendinosus ( $p=0,04$ ). U koncentrické extenze v úhlové rychlosti 60°/s u m. rectus femoris ( $p=0,02$ ) a m. vastus lateralis ( $p=0,01$ ). Při koncentrické extenzi

v úhlové rychlosti 180°/s u m. vastus lateralis (p=0,03). Během excentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s u m. gastrocnemius lateralis (p=0,01). U excentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s u m. gastrocnemius medialis (p=0,02) a m. gastrocnemius lateralis (p=0,003).

Při porovnání aktivity (hodnota mean amplitude) jednotlivých svalů během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 60°/s před a po absolvování únavového protokolu byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. rectus femoris (p=0,04). Při excentrické flexi v úhlové rychlosti 60°/s u m. gastrocnemius medialis (p=0,03) a m. gastrocnemius lateralis (p=0,03) a během excentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. gastrocnemius medialis (p=0,02).

Z výsledků je tak patrný vznik únavy po zátěži u většiny svalů.

Když jsme porovnali aktivitu jednotlivých svalů mezi měřeními před začátkem a po konci sezóny, prokázala se řada statisticky významných rozdílů u hodnoty mean frequency i mean amplitude a to jak před absolvováním, tak i po absolvování únavového protokolu. U hodnoty mean frequency během koncentrické flexe před absolvováním únavového protokolu v úhlové rychlosti 180°/s u m. semitendinosus, během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 60°/s u m. vastus lateralis a rychlosti 180°/s u m. vastus medialis. Při excentrické kontrakci v úhlové rychlosti 60°/s u m. semitendinosus. Po absolvování únavového protokolu byly statisticky významné rozdíly během koncentrické kontrakce v úhlové rychlosti 60°/s u m. semitendinosus a m. biceps femoris a rychlosti 180°/s u m. semitendinosus. U koncentrické extenze v úhlové rychlosti 60°/s m. rectus femoris a m. vastus lateralis a rychlosti 180°/s u m. rectus femoris, m. vastus medialis a m. vastus lateralis. Při excentrické kontrakci v úhlové rychlosti 60°/s u m. gastrocnemius medialis, lateralis a m. semitendinosus. Během excentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s u m. gastrocnemius medialis, lateralis a m. semitendinosus. Výsledky u hodnoty mean amplitude ukázaly statisticky významný rozdíl před absolvováním únavového protokolu u koncentrické extenze v úhlové rychlosti 180°/s u m. rectus femoris. Po absolvování únavového protokolu pak v rychlosti 60°/s a 180°/s. Během Excentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s u m. gastrocnemius medialis a lateralis a v rychlosti 180°/s u m. gastrocnemius lateralis.

Z těchto výsledků se dá vyvodit, že existuje rozdíl v aktivitě svalů po skončení sezóny oproti aktivitě svalů před zahájením sezóny a je také znát signifikantní vliv únavy.

Studie (De Ste Croix, Priestley, Lloyd, Oliver, 2014) hodnotila u fotbalistů vliv únavy na dynamickou stabilitu kolenního kloubu a také elektromechanické zpoždění (EMD), které hraje důležitou roli ve zpětné vazbě aktivačního mechanismu, který stabilizuje kloub. Hodnotili maximální volní excentrickou kontrakci hamstringů v úhlové rychlosti 60, 120 a 180°/s před a po zátěži. Pro stanovení EMD užívali povrchovou elektromyografii, kdy snímali m. semitendinosus, m. biceps femoris a m. gastrocnemius. Jejich závěry ukazují, že únava působí negativně na nervosvalovou kontrolu, která je potřebná ke stabilitě kloubu. Únava také významně zvyšuje EMD po zátěži. To značí, že únava a změna nervosvalového výkonu zvyšují riziko úrazu. V našich výsledcích jsme též došli k závěru, že únava je po zátěži vyšší.

Podobnou tematikou se už zabývalo mnoho studií. Některé se lišily při měření v různých úhlových rychlostech, typu zátěže, hodnocených parametrech EMG i výčtem měřených svalů (Moreira et al, 2015; Oliveira et al. 2012; Rebai et al, 2012; Wright et al., 2009; Charlton et al., 2016; Lovell, Blanch, Barnes, 2012; Bassa et al., 2002; Bassa, Patikas, & Kotzamanidis, 2005). Už v roce 1980 vznikla studie (Barnes, 1980), která je podobná našemu měření. Jejich výsledky tehdy odpovídaly našim výsledkům, že aktivita svalu je různá při odlišných kontrakcích v jiných rychlostech. Naše studie se zabývala hodnocením 7 svalů, což takových studií je poměrně málo, které by měřily tolik svalů, proto se domníváme, že je naše studie přínosem.

Studií, které by se zabývaly výzkumem podobným našemu, tedy porovnáním svalové aktivity před začátkem a po skončení sezóny měřené pomocí izokinetického dynamometru v kombinaci s povrchovou elektromyografií, je poměrně málo. V průběhu soutěžního období je důležité udržet úroveň síly a hlavně u mladých fotbalistů ji dále zvyšovat. V tomto období však může docházet ke ztrátě některých adaptací a k jejímu poklesu. Lehnert, Chvojka, & Psotta (2015) ve své studii došli k výsledkům, že v souboru mladých fotbalistů ve sledovaných obdobích ročního tréninkového cyklu nedošlo k žádoucím změnám síly kolenních flexorů a extenzorů a také, že je zde možnost narušení dynamické stabilizace kolenního kloubu.

Výčet studií, ve kterých je sledována aktivita svalů dolních končetin ve více obdobích ročního tréninkového cyklu, je docela málo a netýká se stejného měření jako je to naše (Eniseler, Sahan, Vurgun, & Mavi, 2012; Malliou, Ispirlidis, Beneka, Taxildaris, & Godolias, 2003). Výsledky těchto studií naznačují, bohužel pouze u dospělých fotbalistů, že se svalová síla v různých fázích tréninkového cyklu mění jen minimálně. Například studie (Lehnert, Psotta, Chvojka, & De Ste Croix, 2014; Lehnert, Urban, Procházka, & Psotta; 2011) se proto zabývala mladými fotbalisty, kdy z výsledků by se dalo vyvodit, že síla u mladých vysoce trénovaných fotbalistů hlavně souvisí s věkem. Třeba studie (Iga, et al., 2009) ze svých výsledků doporučuje, aby mladí fotbalisté rozvíjeli svou sílu pomocí silového tréninku.

Naší domněnkou je, že po tréninkovém cyklu a po zátěži dochází ke kumulaci únavy a tedy snížení síly testovaných svalů, což by odpovídalo i studii (Botek et al., 2010).

Otázkou zůstává, zda byly v naší práci zajištěny stejné podmínky jako u práce Fialové (2016) a také jestli je výsledný počet probandů ( $n=11$ ) dostatečný. Také je otázkou, jestli už výsledky posledních měřených kontrakcí nebyly nadměrně zkresleny vznikající únavou po opakovaných maximálních kontrakcích. To by odpovídalo i výsledkům studie (Morel et al., 2015). Pokud by vznikaly další studie, zabývající se naší problematikou a stejným způsobem měření, bylo by vhodné výsledky a závěry porovnat.

## 7 ZÁVĚR

V této diplomové práci jsme se snažili prostřednictvím povrchové elektromyografie zjistit, zda se vyskytují rozdíly v aktivaci vybraných svalů dominantní dolní končetiny před a po absolvování únavového protokolu během koncentrických a excentrických kontrakcí při izokinetickém režimu při úhlových rychlostech 60°/s a 180°/s u fotbalistů žákovských kategorií po skončení sezóny s porovnáním výsledků před zahájením sezóny.

Porovnání výsledků před a po absolvování únavového protokolu prokázalo několik statisticky významných rozdílů.

Při porovnání aktivity (hodnota mean frequency) jednotlivých svalů během koncentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s před a po absolvování únavového protokolu byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. semitendinosus ( $p=0,04$ ). U koncentrické extenze v úhlové rychlosti 60°/s u m. rectus femoris ( $p=0,02$ ) a m. vastus lateralis ( $p=0,01$ ). Při koncentrické extenzi v úhlové rychlosti 180°/s u m. vastus lateralis ( $p=0,03$ ). Během excentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s u m. gastrocnemius lateralis ( $p=0,01$ ). U excentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s u m. gastrocnemius medialis ( $p=0,02$ ) a m. gastrocnemius lateralis ( $p=0,003$ ).

Při porovnání aktivity (hodnota mean amplitude) jednotlivých svalů během koncentrické extenze v úhlové rychlosti 60°/s před a po absolvování únavového protokolu byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. rectus femoris ( $p=0,04$ ). Při excentrické flexi v úhlové rychlosti 60°/s u m. gastrocnemius medialis ( $p=0,03$ ) a m. gastrocnemius lateralis ( $p=0,03$ ) a během excentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s byl v t-testu prokázán statisticky významný rozdíl u m. gastrocnemius medialis ( $p=0,02$ ).

Z výsledků je patrný vznik únavy po zátěži u většiny svalů.

Při porovnání aktivity jednotlivých svalů mezi měřením před začátkem a po konci sezóny ukázalo též řadu statisticky významných rozdílů u hodnoty mean frequency i mean amplitude a to jak před absolvováním, tak i po absolvování únavového protokolu. U hodnoty mean frequency během koncentrické flexe před absolvováním únavového protokolu v úhlové rychlosti 180°/s u m. semitendinosus, během

koncentrické extenze v úhlové rychlosti 60°/s u m. vastus lateralis a rychlosti 180°/s u m. vastus medialis. Při excentrické kontrakci v úhlové rychlosti 60°/s u m. semitendinosus. Po absolvování únavového protokolu byly statisticky významné rozdíly během koncentrické kontrakce v úhlové rychlosti 60°/s u m. semitendinosus a m. biceps femoris a rychlosti 180°/s u m. semitendinosus. U koncentrické extenze v úhlové rychlosti 60°/s m. rectus femoris a m. vastus lateralis a rychlosti 180°/s u m. rectus femoris, m. vastus medialis a m. vastus lateralis. Při excentrické kontrakci v úhlové rychlosti 60°/s u m. gastrocnemius medialis, lateralis a m. semitendinosus. Během excentrické flexe v úhlové rychlosti 180°/s u m. gastrocnemius medialis, lateralis a m. semitendinosus. Výsledky u hodnoty mean amplitude ukázaly statisticky významný rozdíl před absolvováním únavového protokolu u koncentrické extenze v úhlové rychlosti 180°/s u m. rectus femoris. Po absolvování únavového protokolu pak v rychlosti 60°/s a 180°/s. Během Excentrické flexe v úhlové rychlosti 60°/s u m. gastrocnemius medialis a lateralis a v rychlosti 180°/s u m. gastrocnemius lateralis.

Z těchto výsledků se dá vyvodit, že existuje rozdíl v aktivitě svalů po skončení sezóny oproti aktivitě svalů před zahájením sezóny.

## 8 SOUHRN

Tato diplomová práce je součástí výzkumné práce doc. PaedDr. Michala Lehnerta pod názvem Únava a riziko zranění předního zkříženého vazů (ACL) u hráčů a hráček dorostenecké kategorie. Cílem diplomové práce bylo zhodnotit aktivitu vybraných svalů dominantní dolní končetiny pomocí povrchového poly EMG během koncentrických a excentrických kontrakcí při izokinetickém režimu při úhlových rychlostech 60°/s a 180°/s u fotbalistů žákovských kategorií po skončení sezóny s porovnáním výsledků před zahájením sezóny.

Teoretická část práce pojednává o stavbě a kontrakcích svalu, svalovém metabolismu, inervaci svalů a typech svalových vláken. Další část práce se zaměřuje na únavu a regeneraci. Také byla popsána izokinetická dynamometrie a povrchová elektromyografie.

Výsledný testovaný soubor tvořilo 11 fotbalistů SK Sigma Olomouc žákovské kategorie. Pro měření izokinetických kontrakcí byl použit přístroj IsoMed 2000 a elektromyografický přístroj NORAXON MyoSystem 1400A. Následné zpracování EMG signálu bylo provedeno pomocí programu MyoResearch XP Master Version 1.03.05. Svalová aktivita byla snímána na dominantní dolní končetině u těchto svalů: m. vastus medialis (VM), m. rectus femoris (RF), m. vastus lateralis (VL), m. gastrocnemius medialis (GM), m. gastrocnemius lateralis (GL), m. semitendinosus (SM) a m. biceps femoris (BF). Při měření se prováděla maximální volní koncentrická a excentrická kontrakce v úhlových rychlostech 60°/s a 180°/s a to ve 3 opakováních s 30s pauzami. Po absolvování únavového protokolu proband absolvoval druhé měření. Pro zjištění statisticky významného rozdílu naměřených dat byl použit t-test. Hladina statistické významnosti byla stanovena na hodnotu  $p < 0,05$ .

Porovnání výsledků před a po absolvování únavového protokolu ukázalo několik statisticky významných rozdílů.

Při porovnání aktivity jednotlivých svalů mezi měřením před začátkem a po konci sezóny se prokázala též řada statisticky významných rozdílů u hodnoty mean frequency a mean amplitude a to jak před absolvováním, tak i po absolvování únavového protokolu. To je důkaz, že existuje rozdíl v aktivitě svalů po skončení sezóny oproti aktivitě svalů před zahájením sezóny.



## 9 SUMMARY

This dissertation is part of the research work of doc. PaeDr. Michael Lehnert called Fatigue and Risk of Injury to the Anterior Cruciate Ligament (ACL) in Male and Female players of the junior category. The aim of the work was to evaluate the activity of the selected dominant lower limb muscles using surface poly-EMG during concentric and eccentric contractions at the isokinetic mode at angular speeds of 60 °/s and 180 °/sec in footballers of pupil categories after the end of the season, comparing results with the ones before the start of the season.

The theoretical part of the work deals with structure and contractions of muscles, muscle metabolism, muscle innervation, and types of muscle fibres. The next part focuses on fatigue and recovery. Isokinetic dynamometry and surface electromyography were also described.

The resulting test sample consisted of 11 footballers of SK Sigma Olomouc, the pupil category. For isokinetic contraction measurement, the IsoMed 2000 and NORAXON MyoSystem 1400A electromyographic device were used. The subsequent processing of the EMG signal was performed using the MyoResearch XP Master Version 1.03.05 software. Muscular activity was scanned on the dominant leg, for the following muscles: m. vastus medialis (VM), m. rectus femoris (RF), m. vastus lateralis (VL), m. gastrocnemius medialis (GM), m. gastrocnemius lateralis (GL), m. semitendinosus (SM) and m. biceps femoris (BF). During the measurements, the maximal voluntary concentric and eccentric contractions at the angular velocity of 60 ° / sec and 180 ° / sec in 3 replicates with 30 sec intervals. After completing the fatigue protocol, the proband passed the second measurement. To determine the statistically significant difference of the measured data, a t-test was used. The statistical significance level was set at  $p < 0.05$ .

Comparing the results before and after the completion of the fatigue protocol showed a few statistically significant differences.

When comparing the activity of individual muscles between the measurements taken before and after the end of the season also showed a number of statistically significant differences in mean frequency and mean amplitude values both before and after completion of the fatigue protocol. This is a proof that there is a difference in the

muscle activity after the end of the season compared to the activity of the muscles prior to the start of the season.

## 10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Aagaard, P., Simonsen, E., B., Andersen, J., L., Magnusson, S., P., Halkjaer-Kristensen, J., & Dyhre-Poulsen, P. (2000). Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: *Effects of resistance training. Journal of Applied Physiology*, 89(6), 2249-2257.
- Adams, G., R., Cheng, D., C., Haddad, F., & Baldwin, K., M. (2004). Skeletal muscle hypertrophy in response to isometric, lengthening, and shortening training bouts of equivalent duration. *Journal of Applied Physiology*, 96(5), 1613-1618.
- Aginsky, K., D., Neophytou, N., & Charalambous, T. (2014). Isokinetic hamstring and quadriceps muscle strength profiles of elite South African football players. *African Journal for Physical, Health Education, Recreation and Dance*, 20(3:2), 1225-1236.
- Alentorn-Geli, E., Alvarez-Diaz, P., Ramon, S., Marin, M., Steinbacher, G., Boffa, J., J., Cuscó, X., Ballester, J., Cugat, R. (2015). Assessment of neuromuscular risk factors for anterior cruciate ligament injury through tensiomyography in male soccer players. *Sports Medicine*, 23, 2508 - 2513.
- Bernes, W., S. (1980). The Relationship of Motor-Unit Activation to Isokinetic Muscular Contraction at Different Contractile Velocities. *Physical Therapy*, 60(9), 1152-1158.
- Baroni, B., M., Stocchero, C., M., A., Santo, R., C., E., Ritzel, C., H., & Vaz, M., A. (2011). The effect of contraction type on muscle strength, work and fatigue in maximal isokinetic exercise. *Isokinetics and Exercise Science*, 19, 215-220.
- Bassa, H., Kotzamanidis, C., Siatras, T., Mameletzi, D., & Skoufas, D. (2002). Coactivation of knee muscles during isokinetic concentric and eccentric knee extensions and flexions in prepubertal gymnasts. *Isokinetics and exercise science*, 10(3), 137–144.
- Bassa, H., Patikas, D., & Kotzamanidis, Ch. (2005). Activation of antagonist knee muscles during isokinetic efforts in prepubertal and adult males. *Pediatric exercise science*, 17(2), 171–181.

Bernaciková, M., Novotný, J., & Siriški, D. (2014). *Praktická cvičení z fyziologie člověka pro studenty bakalářských oborů Tělesné výchovy*. Brno: Masarykova univerzita.

Bosquet, L., Gouadec, K., Berryman, N., Duclos, C., Gremeaux, V., & Croisier, J., L. (2016). The total work measured during a high intensity isokinetic fatigue test is associated with anaerobic work capacity. *Journal of Sports Science and Medicine*, 15, 126-130.

Botek, Z., Gába, A., Lehnert, M., Přidalová, M., Vareková, R., Botek, M., & Langer, F. (2010). Condition and body constitution of soccer players in category U19 before and after completing a preparatory period. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Gymnica*, 40(2), 47-54.

Čihák, R. (2008). *Anatomie I* (2nd Ed.). 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.

Decorte, N., Lafaix, P., A., Millet, G., Y., Wuyam, B., & Verges, S. (2012). Central and peripheral fatigue kinetics during exhaustive constant-load cycling. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 22, 381-391.

Dirnberger, J., Huber, Ch., Hoop, D., Kösters, A., & Müller, E. (2013). Reproducibility of concentric and eccentric isokinetic multi-joint leg extension measurements using the IsoMed 2000-system. *Isokinetics and Exercise Science*, 21, 195-202.

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.

Dylevský, I. (2009). *Funkční anatomie*. Praha: Grada Publishing.

Dylevský, I. (2007). *Obecná kineziologie*. Praha: Grada Publishing.

Dosoudilová, V. (2014). *Hodnocení aktivity vybraných svalových skupin dolní končetiny pomocí poly-EMG během excentrické kontrakce před a po zátěži u fotbalistů žákovských kategorií*. Retrieved 20. 9. 2016 from the World Wide Web:<http://library.upol.cz/arl-upol/cs/csg/?repo=upolrepo&key=38730500992>.

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.

Fialová, A. (2016). *Hodnocení aktivity vybraných svalů dominantní dolní končetiny pomocí Poly-EMG během koncentrické a excentrické kontrakce před a po absolvování únavového protokolu u fotbalistů žákovských kategorií*. Retrieved 20. 9. 2016 from the World Wide Web: <http://library.upol.cz/arl-upol/cs/csg/?repo=upolrepo&key=63318045501>

Fulcher, M., L., Hanna, C., M., & Elley, C., R. (2010). Reliability of handheld dynamometry in assessment of hip strength in adult male football players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13, 80-84.

Ganong, W. F. (2005). *Přehled lékařské fyziologie* (J. Herget, K. Rakušan, Trans.). Praha: Galén. (Original work published 2003).

Greko, C.C., da Silva, W. L., Camarda, S.R., & Denadai, B.S. (2013). Fatigue and rapid hamstring/quadriceps force capacity in professional soccer players. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. 33(1), 18-23.

Guilhem, G., Cornu, C., & Guével, A. (2010). Neuromuscular and muscle-tendon system adaptations to isotonic and isokinetic eccentric exercise. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 53(5), 319-341

Haizlip, K., M., Harrison, B., C., & Leinwand, L., A. (2015). Sex-based differences in skeletal muscle kinetics and fiber-type composition. *American Physiology Society*, 30(1), 30-39.

Hamill, J., & Knutzen, K., M. (2003). *Biomechanical basis of human movement* (2nd Ed.). Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.

Hojka, V., & Raba, L. (2015). Vliv svalové únavy na změny ve spektrálním EMG při opakovaném cvičení na legpressu. *Česká kinantropologie*, 19(3), 22-29.

Charlton, P., C., Mentiplay, B., F., Grimaldi, A., Pua, Y-H., & Clark, R., A. (2016). The reliability of a maximal isometric hip strength and simultaneous surface EMG screening protocol in elite, junior rugby league athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 1-7.

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.

Iga, J., George, K., Lees, A., & Reilly, T. (2009). Cross-sectional investigation of indices of isokinetic leg strength in youth soccer players and untrained individuals. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 19(5), 714–719.

Kallenberg, L., A., C., Schulte, E., Disselhorst-Klug, C., & Hermens, H., J. (2007). Myoelectric manifestations of fatigue at low contraction levels in subjects with and without chronic pain. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 17(3), 264-274.

Konrad, P. (2006). *The ABC of EMG. A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography*. Retrieved 1. 6. 2016 from the World Wide Web: <http://www.noraxon.com/wp-content/uploads/2014/12/ABC-EMG-ISBN.pdf>

Kovacevic, E., Abazovic, E., Mensur, V., & Bradic, J. (2013). The Effects Of Concentric Isokinetic Training On Jumping Performance. *Homo Sporticus Issue*, 2, 29-34.

Krobot, A., & Kolářová, B. (2011). *Povrchová elektromyografie v klinické rehabilitaci*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.

Le Goff, C., Kaux J.-F., Laurent, T., Vannuscorps, J., Pincemail, J., Chapelle, J.-P., Cavalier, E., & Croisier, J.-L. (2014). Is isokinetic eccentric exercise dangerous for the heart?. *Isokinetics and Exercise Science*, 22, 131-136.

Lehnert, M., Botek, M., Sigmund, M., Smékal, D., et al. (2014). *Kondiční trénink*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. Retrieved 23. 4. 2016 from the World Wide Web: <https://publi.cz/books/149/05.html>

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., Urban, J., Procházka, J., H., & Psotta, R. (2011). Isokinetic strength of knee flexors and extensors of adolescent soccer players and its changes based on movement speed and age. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis, Gymnica*, 41(2), 45-53.

Lerchová, E. (2014). *Hodnocení aktivity vybraných svalů dolní končetiny pomocí poly-EMG během koncentrické kontrakce před a po zátěži u mladých fotbalistů*. Retrieved 20. 9. 2016 from the World Wide Web: <http://library.upol.cz/arl-upol/cs/csg/?repo=upolrepo&key=63318045501>

Lovell, G., A., Blanch, P., D., & Barnes, C., J. (2012). EMG of the hip adductor muscles in six clinical examination tests. *Physical Therapy in Sport*, 13, 134-140.

Máček, M., & Radvanský, J, et al. (2011). *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Praha: Galén.

Malliou, R., Ispirlidis, I., Beneka, A., Taxildaris, K., & Godolias, G. (2003). Vertical jump and knee extensors isokinetic performance in professional soccer players related to the phase of the training period. *Isokinetics and Exercise Science*, 11, 165-169.

Mansson, A., Rassier, D., & Tsiavaliaris, G. (2015). Poorly Understood Aspects of Striated Muscle Contraction. *BioMed Research International*, 2015, 1-28.

Moreira, P., V., S., Goncalves, M., Crozara, L., F., Castro A., Neto, A., F., A., Goethel, M., F., & Cardozo, A., C. (2015). Effects of fatigue on the neuromuscular capacity of professional soccer players. *Isokinetic's and Exercise Science*. 23(4), 257-282.

Morel, B., Clémenton, M., Rota, S., Millet G., Y., Bishop, D., J., Brosseau, O., Rouffet, D., M., & Hautier C., A. (2015). Contraction velocity influence the magnitude and etiology of neuromuscular fatigue during repeated maximal contractions. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25, 432-441.

Myer, G. D., Ford, K. R., Divine, J. G., Wall, E. J., Kahanov, L., & Hewett, T. (2009). Longitudinal Assessment of Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury Risk Factors

During Maturation in a Female Athlete: A Case Report. *Journal of athletic training*, 4(1), 101–109.

Naňka, O., & Elišková, M. (2015). *Přehled anatomie* (3rd Ed.). Praha: Galén.

Nilwik, R., Snijders, T., Leenders, M., Groen, B., B., L., Van Kranenburg, J., Verdijk, L., B., & Van Loon, L., J., C. (2013). The decline in skeletal muscle mass with aging is mainly attributed to a reduction in type II muscle fiber size. *Experimental Gerontology*, 48, 492-498.

Nováková, P., Šifta ,P., Pavelková, Z., Judl, J., Dastyh, P., & Bahníková, E. (2012). Komparace účinků různých forem regenerace po zátěži pomocí myotonometrie. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*, 3, 144-148.

Novotný, J. (2013). *Sportovní medicína*. Brno: Masarykova univerzita. Retrieved 23. 4. 2016 from the World Wide Web: [http://www.fsps.muni.cz/~novotny/SM\\_text.pdf](http://www.fsps.muni.cz/~novotny/SM_text.pdf)

Oliveira, A., S., C., Corvino, R., B., Goncalvez, M., Caputo, F., & Denadai, B., S. (2012). Maximal isokinetic peak torque and EMG activity determined by shorter ranges of motion. *Human movement*. 13(2), 102–108.

Ratamess, N., A., Beller, N., A., Gonzalez, A., M., Spatz, G., E., Hoffman, J., R., Ross, R., E., Faigenbaum, A., D., & Kang, J. (2016). The effects of multiple-joint isokinetic resistance training on maximal isokinetic and dynamic muscle strength and local muscular endurance. *Journal of Sports Science and Medicine*, 15, 34-40.

Rebai, H., Zarrouk, N., Sahli, S., Tabka, Z., Hug, F., & Dogui, M. (2012). Effect of heavy isokinetic intermittent exercise on acute neuromuscular fatigue in knee extensors. *Isokinetics and Exercise Science*. 20(2), 121-128.

Rodová, D., Mayer, M., & Janura, M. (2001). Současné možnosti využití povrchové elektromyografie. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*, 8(4), 173 – 177.

Roessler, P., P., Schüttler, J., F., Heyse, T., J., Wirtz, D., C., & Efe, T. (2016). The anterolateral ligament (ALL) and its role in rotational extra-articular stability of the knee joint: a review of anatomy and surgical concepts. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 136(3), 305-313.



- Rokyta, R., et al. (2015). *Fyziologie a patologická fyziologie pro klinickou praxi*. Praha: Grada.
- Sandon, A. Werner, S., & Forssblad, M. (2015). Factors associated with returning to football after anterior cruciate ligament reconstruction. *Sports Medicine*, 23(25), 2014 - 2521.
- Silbernagl, S., & Despopoulos, A. (1993). *Atlas fyziologie člověka* (J. Mareš, E. Trávníčková, S. Trojan, Z. Wunsch, Trans.). Praha: Grada.
- Shei, R.-J., & Mickleborough, T., D. (2013). Relative contributions of central and peripheral factors in human muscle fatigue during exercise: A brief review. *Journal of Exercise Physiology*, 16(6), 1-17.
- Sherwood, L. (2010). *Human physiology: From cells to systems* (7th Ed.). Canada: Brooks/Cole, Centage Learning.
- Small, K., McNaughton, L., Greig, M., & Lovell, R. (2010). The effect of multidirectional soccer-specific fatigue on markers of hamstring injury risk. *Journal of Science and Medicine in Sports*. 13(1), 120-125.
- Taylor, J., L., & Gandevia, S., C. (2008). A comparison of central aspects of fatigue in submaximal and maximal voluntary contractions. *Journal of Applied Physiology*, 104(2), 542-550.
- Trojan, S., et al. (1999). *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada.
- Van De Graaff, K., M., Fox, S., I., & LaFleur, K., M. (1997). *Synopsis of human anatomy & physiology*. USA: WCB.
- Véle, F. (2006). *Kineziologie* (2nd Ed.). Praha: Triton.
- Waldén, M., Hägglund, M, Werner, J., & Ekstrand, J. (2011). The epidemiology of anterior cruciate ligament injury in football (soccer): a review of the literature from a gender-related perspective. *Sports Medicine*, 19, 3-10.

Whiteley, R., Jacobsen, P., Prior, S., Skazalski, C., Otten, R., & Johnson, A. (2012). Correlation of isokinetic and novel hand-held dynamometry measures of knee flexion and extension strength testing. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15, 444-450.

Williams, C., A., & Ratel, S. (2009). *Human Muscle Fatigue*. New York: Routledge.


Wright, J., Ball, N., & Wood, L. (2009). Fatigue, H/Q ratios and muscle coactivation in recreational football players. *Isokinetic's and Exercise Science*. 17(3),161-167.

Zajac, A., Chalimoniuk, M., Maszczyk, A., Gołasz, A., & Lngfort, J. (2015). Central and peripheral fatigue during resistance exercise – a critical review. *Journal of Human Kinetics*, 49, 159-169.

# 11 PŘÍLOHY

## Příloha 1

### Vyjádření etické komise



Fakulta  
tělesné kultury

**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 25. 4. 2016 byl projekt výzkumu

autorů: **doc. PaedDr. Michal Lehnert, Dr.; Mgr. Karel Hůlka, Ph.D.; Mgr. Amr Zaatar, Ph.D., Mgr. Zuzana Xaverová; Bc. Ondřej Laštovička; Bc. Marian Opavský; Bc. Tereza Vilimová**

s názvem  
**Únava a riziko zranění předního zkříženého vazů (ACL) u hráčů a hráček dorostenecké kategorie**  
schválen Etickou komisí FTK UP pod jednacím číslem: 40/2016  
dne: 3. 5. 2016

Etická komise FTK UP zhodnotila předložený projekt a **neshledala žádné rozpory** s platnými zásadami, předpisy a mezinárodními směnicemi 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  
Univerzita Palackého v Olomouci  
Fakulta tělesné kultury  
Komise  
třída Míru 117 / ; Olomouc

Fakulta tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci  
třída Míru 117 | 771 11 Olomouc | T: +420 585 636 009  
www.ftk.upol.cz



## INFORMOVANÝ SOUHLAS

### Únava a riziko zranění kolena a hamstringů fotbalistů žákovských kategorií

Jméno a příjmení: \_\_\_\_\_

Datum narození: \_\_\_\_\_

Účastník byl do studie zařazen pod číslem (prosíme nevyplňovat):

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

Podpis zákonného zástupce účastníka: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

Podpis řešitele pověřeného touto studií: \_\_\_\_\_

*doc. PaedDr. Michal Lehnert, Dr.*

Datum: 23. května 2013

## Příloha 3

### Dotazník: Aktuální zdravotní stav

**Dotazník: Aktuální zdravotní stav** Datum: .....

Přiřazené číslo: .....

Jméno probanda: .....

Věk ..... Výška ..... Váha .....

**Dominance horní končetiny**

1. Kterou rukou píšete? .....
2. Kterou rukou se češete, čistíte zuby?.....

**Preferenční dolní končetina pro odraz**

1. Kterou nohou kopnete do míče? .....
2. Kterou nohou budete zvedat malý předmět?.....
3. Kterou nohou první vystoupíte na schod?.....
4. Kterou nohou rozšlapete malý předmět? .....

**Úrazy na dolních končetinách (zlomeniny, distorze, operace)**

1. Kyčelní kloub pravý ANO – NE typ úrazu: .....
2. Kyčelní kloub levý ANO – NE typ úrazu: .....
3. Kolenní kloub pravý ANO – NE typ úrazu: .....
4. Kolenní kloub levý ANO – NE typ úrazu: .....
5. Hlezenní kloub pravý ANO – NE typ úrazu: .....
6. Hlezenní kloub levý ANO – NE typ úrazu: .....
7. Jiné poranění DK (poranění svalu) .....

Bolesti bederní páteře ANO – NE

Pokud ANO jak často .....

Jiné zdravotní potíže, operace, alergie, jiné činnosti (plavání, jogging, lyžování...), skoliosa (vadné držení těla), široké balení v dětství, ortopedické vložky do bot

.....

Berete léky? ANO – NE

Pokud ANO, uveďte které .....

6. Hlezenní kloub levý ANO – NE typ úrazu: .....
7. Jiné poranění DK (poranění svalu) .....

Bolesti bederní páteře ANO – NE

Pokud ANO jak často .....

Jiné zdravotní potíže, operace, alergie, jiné činnosti (plavání, jogging, lyžování...), skoliosa (vadné držení těla), široké balení v dětství, ortopedické vložky do bot

.....

Berete léky? ANO – NE

Pokud ANO, uveďte které .....