

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

2. LÉKAŘSKÁ FAKULTA

Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství

Jiří Kudláček

**EMG studie: Nordic hamstring exercises
vs. izometrické posilování**

Diplomová práce

Praha 2020

Autor práce: **Bc. Jiří Kudláček**

Vedoucí práce: **MUDr. Kryštof Slabý**

Oponent práce: **MUDr. Jan Pokorný**

Datum obhajoby: **2020**

Bibliografický záznam

Kudláček, Jiří. EMG studie: Nordic hamstring exercises vs. izometrické posilování. Praha: Univerzita Karlova, 2. lékařská fakulta, Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství, 2020. 79s. Vedoucí diplomové práce MUDr. Kryštof Slabý.

Abstrakt

Diplomová práce je EMG studií, která je zaměřena na měření elektrické aktivity skupiny flexorů kolenního kloubu a m. quadriceps femoris při nordic hamstring exercises, single leg slide a izometrickém posilování.

V teoretické části budou stručně shrnuty anatomické, fyziologické a kineziologické poznatky o muskuloskeletálním systému, dále také princip a využití povrchové elektromyografie. V experimentální části bude na skupině 20 zdravých jedinců ve věku 20-30 let provedeno EMG vyšetření. Každý proband podstoupí krátký kineziologický rozbor a následně měření pomocí 16 kanálového povrchového elektromyografu. Cílem diplomové práce je porovnání průměrných a maximálních hodnot amplitudy EMG signálu jednotlivých svalů u každého hodnoceného cviku. U nordic hamstring exercise a single leg slide je ještě úkolem zjistit, zda je statisticky významný rozdíl v poměru EMG aktivity m. biceps femoris a m. semitendinosus. Dalším cílem práce je stanovení timingu hamstringů během nordic hamstring exercises. Úkolem diskuze je rozhodnout, zda je na základě těchto parametrů možné určit jedince s vyšším rizikem vzniku poškození hamstringů.

Klíčová slova

Nordic hamstring exercises, povrchová elektromyografie, izometrie, excentrická kontrakce, rehabilitace, úrazy hamstringů

Bibliographical record:

KUDLÁČEK, Jiří. EMG study: Nordic hamstring exercises vs. isometric training. Prague: Charles University, 2nd Faculty of Medicine, Department of Rehabilitation and Sports Medicine, 2020, 79p. Supervisor MUDr. Kryštof Slabý.

Abstract

This thesis is an EMG study, which examines an electric activity of knee flexors and m. quadriceps femoris during 3 types of exercises: Nordic hamstring exercise, single leg sliding leg curl, and isometric contraction.

The theoretical part summarizes anatomy, physiology, and kinesiology of the musculoskeletal system, as well as the principle of surface EMG. In the experimental part, the EMG study was conducted on 20 healthy individuals aged 20 to 30 years-old. Each patient underwent an applied kinesiology procedure and subsequently went through an 16 channel surface EMG technique. The aim of this work is to compare the maximal and average value of the EMG amplitude of particular muscles during each exercise. While providing Nordic hamstring exercise and single leg slide, the light was shed on a question of whether there is a statistically significant difference between activation of m. biceps femoris and m. semitendinosus in terms of EMG values. The following phase of the thesis scrutinized the timing of hamstring muscles during Nordic hamstring exercises. The overall objective of the discussion is to analyze if it is possible to determine a patient with a higher risk of hamstring strain injury.

Keywords

Nordic hamstring exercises, surface electromyography, isometric contraction, eccentric contraction, rehabilitation, hamstring strain injury

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně pod vedením MUDr. Kryštofa Slabého, uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržoval zásady vědecké etiky. Dále prohlašuji, že stejná práce nebyla použita k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze 16. 8. 2020

Jiří Kudláček

Poděkování

Děkuji MUDr. Kryštofu Slabému za jeho pomoc, věnovaný čas, odborné vedení a dobré rady při vytváření mé diplomové práce. Dále bych rád poděkoval vedení a zaměstnancům Kliniky rehabilitace a tělovýchovného lékařství 2. LF UK za zapůjčení elektromyografického přístroje a poskytnutí prostorů k měření. Děkuji také všem probandům, kteří se účastnili měření. Závěrem bych chtěl poděkovat své rodině a nejbližším za pomoc a podporu.

OBSAH

SEZNAM ZKRATEK	10
ÚVOD.....	12
1 PŘEHLED POZNATKŮ	13
1.1 Pletenec dolní končetiny	13
1.1.1 Ischiokrurální svaly.....	13
1.1.2 Kineziologické poznatky	14
1.2 Excentrická kontrakce	15
1.2.1 Neurální strategie řízení	16
1.2.2 Reakce těla na excentrickou zátěž	17
1.2.3 Adaptace na excentrickou kontrakci.....	18
1.2.4 Strukturální změny v důsledku excentrické kontrakce.....	19
1.3 Izometrická kontrakce	19
1.3.1 Vliv izometrické kontrakce na mechanismus vzniku HSI	20
1.3.2 Vliv excentrické kontrakce na rozvoj svalové síly a hmoty	20
1.4 Poranění ischiokrurální svalstva	21
1.4.1 Incidence sportovních úrazů.....	21
1.4.2 Incidence poranění hamstringů.....	22
1.4.3 Mechanismus vzniku poranění	23
1.4.4 Klasifikace poranění	24
1.4.5 Epidemiologie vzniku HSI	26
1.5 Klíčové aspekty klinického vyšetření	30
1.6 Benefity excentrického cvičení NHE ve vztahu k HSI	33
1.7 Sledované cviky a pohyby hodnocené pomocí EMG	35
1.7.1 Nordic hamstring exercise.....	35
1.7.2 Nordic hamstring exercise – plyometric variant	36
1.7.3 Slide leg exercise.....	36
1.7.4 Isometric hamstring exercise – 45 degrees flexion of the knee.....	37

1.8	Rozbor aktivace hamstringů během NHE a SLE	38
1.9	Povrchová elektromyografie	40
1.9.1	Faktory ovlivňující snímaný signál.....	40
2	CÍLE A HYPOTÉZY	44
2.1	Hypotézy	44
3	METODIKA	45
3.1	Probandi.....	45
3.2	Použité metody	46
3.3	Postup měření.....	46
3.4	Zpracování signálu.....	47
3.5	Statistické zpracování dat.....	48
3.6	Sběr dat.....	48
4	VÝSLEDKY.....	49
4.1	Porovnání průměrných a maximálních hodnot amplitudy EMG signálu u jednotlivých cviků	49
4.1.1	Isometric hamstring exercise – 45 degrees flexion of the knee (mean).....	49
4.1.2	Nordic hamstring exercises	49
4.1.3	Nordic hamstring exercises – plyometric variant.....	51
4.1.4	Single leg slide	51
4.2	Stanovení timingu hamstringů při nordic hamstring exercises.....	53
4.2.1	Srovnání rychlosti aktivace m. biceps femoris a m. semitendinosus	53
4.2.2	Stranový rozdíl v rychlosti aktivace m. biceps femoris a m. semitendinosus	54
5	DISKUZE	55
5.1	Diskuze k teoretické části	55
5.2	Diskuze k praktické části.....	56
5.3	Limity	57

6	ZÁVĚR.....	59
7	REFERENČNÍ SEZNAM	60
	SEZNAM PŘÍLOH	68
	PŘÍLOHY	69

SEZNAM ZKRATEK

AKE	aktivní extenze kolene (aktive knee extension test)
ANOVA	analýza rozptylu
AROM	aktivní rozsah pohybu (active range of motions)
BF	m. biceps femoris
CKC	uzavřený kinematický řetězec (closed kinematic chain)
COD	rychlostní cvičení využívající změny směru (change of direction performance)
DK	dolní končetina
DKK	dolní končetiny
DOMS	pozátěžová bolest, diskomfort (delayed onset muscle soreness)
EC	excentrická kontrakce
EMG	elektromyografický
H:Q _{CR}	conventional ratio
HKK	horní končetiny
HSI	poranění hamstringů (hamstring strain injury)
IZK	izometrická kontrakce
KC	koncentrická kontrakce
LDK	levá dolní končetina
lig.	ligamentum
m.	musculus
MH	mediální skupina hamstringů
MSK	muskuloskeletální ultrazvuk
MU	motorická jednotka (motor unit)
MVIC	maximální volní kontrakce
NHE	nordic hamstring exercise
NHE plyo	nordic hamstring exercise-plyometric variant
OKC	otevřený kinematický řetězec (open kinematic chain)
PDK	pravá dolní končetina
PKE	pasivní extenze kolene (passive knee extension)
SEMG	povrchová elektromyografie (surface elektromyografie)

SENIAM	Společnost pro neinvazivní vyšetření svalů pomocí povrchové elektromyografie (Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles, 1999)
SLE	single leg slide
ST	m. semitendinosus
vs	versus

ÚVOD

V oblasti sportovní medicíny a fyzioterapie je už dlouho znám pozitivní vliv excentrického cvičení na urychlení rekonvalescence měkkých tkání pletence dolní končetiny po úraze. Tato excentrická cvičení jsou cíleně řazena do tréninkového plánu sportovce a umožňují sportovci rychlejší zotavení po úraze. Poškození se týká skupiny flexorů kolenního kloubu, ke kterému je nejnáchylnější m. biceps femoris. Mezi sportovce nejčastěji trpící hamstring strain injury (HSI) patří hráči fotbalu, amerického fotbalu, rugby a atleti. Ačkoliv je benefit excentrické kontrakce v terapii zřejmý, o možnosti využití v oblasti primární a sekundární prevence máme jen málo informací. Otázkou je, zda lze pomocí některého excentrického cviku zhodnotit funkčnost hamstringů a použít toto cvičení k vytipování jedinců, jejichž hamstringy nefungují optimálně.

Povrchová elektromyografie představuje jednoduchý, levný a neinvazivní způsob vyšetření svalové činnosti během různých druhů pohybů. Pomocí na kůži lepených elektrod je snímána aktivita svalů, zejm. těch, které jsou umístěny povrchově. Základní podmínkou pro správně provedené měření je pečlivá příprava a očištění kůže probanda, nutnost znalosti palpační anatomie a alespoň základní orientace v problematice zpracování získaného surového EMG signálu. Pomocí SEMG lze hodnotit např. míru aktivace svalů, získat informace o silových přírůstcích vyvolaných aktivitou jednotlivých svalů či skupinami svalů nebo zjistit postupný nárůst jejich aktivity v čase. V této práci je SEMG použita k ozřejmění aktivace jednotlivých svalů během různých cvičení a k odpovědi na otázku, zda lze pomocí stanovení timingu hamstringů během nordic hamstring exercises zhodnotit jejich funkčnost a odhalit případné riziko vzniku úrazu u běžně sportujícího jedince.

1 PŘEHLED POZNATKŮ

1.1 Pletenec dolní končetiny

1.1.1 *Ischiokrurální svaly*

Jedním z mnoha faktorů ovlivňujících funkci ischiokrurálního svalstva je anatomická variabilita ve stavbě těchto svalů. Jednotlivé variace mohou mít velký vliv na funkci kolenního kloubu a zásadně tak ovlivnit i biomechaniku celé dolní končetiny. Mnohdy je právě tento strukturální pohled na věc přehlížen a zastíněn funkční problematikou. I z tohoto důvodu je dobré hned v úvodu poznamenat, že v této diplomové práci se předpokládá obvyklá anatomická stavba svalů.

M. biceps femoris

M. biceps femoris odstupuje od tuber ischiadicum jako caput longum, probíhá po těle femuru a v blízkosti střední třetiny labium laterale lineae asperae se k němu připojuje caput brevis. Společným úponovým místem je caput fibulae. Inervace dlouhé hlavy je stejně jako u m. semimembranosus a m. semitendinosus zajištěna n. tibialis, krátká hlava je inervována z n. fibularis communis. Fakt, že je m. biceps femoris inervován dvěma různými nervy, je mnohdy popisován jako možná příčina vyšší frekvence zranění právě tohoto svalu (DeWitt & Vidale, 2014; Čihák, 2016).

V některých případech můžeme pozorovat změnu ve stavbě svalu a výskyt různých anatomických variet. Např. absenci krátké hlavy bicepsu či přítomnost samostatné úponové šlachy tohoto svalu na caput fibulae. Dlouhá hlava naopak disponuje značnou variabilitou v počtu a v umístění svého začátku. Kromě tuber ischiadicum mohou svalové snopce začínat i na přilehlém os sacrum a os coccygis. Různým počtem svalových vláken může rovněž odstupovat od lig. sacrotuberale a od m. gluteus maximus. Zajímavou variabilitou je i výskyt samostatného svalového bříška, které probíhá středem zákolenní jámy, inzeruje se do fascie na lýtku a nazývá se m. tensor fascie suralis. Ten může představovat zcela samostatný sval, odstupující od femuru nebo být pokračováním dlouhé hlavy m. biceps femoris (Čihák, 2016).

M. semitendinosus

Odstupuje rovněž od tuber ischiadicum, z jeho mediální strany, probíhá šikmo a inzeruje se prostřednictvím pes anserinus na mediální stranu kolenního kloubu. Do průběhu svalového bříška je vložena šlachová vložka, která se vyznačuje varietou

tvaru i výskytu. Celé svalové břicho může přecházet na lýtko a s vlákny z m. biceps femoris a m. semimembranosus tvořit již výše zmíněný m. tensor fasciae latae.

M. semimembranosus

M. semimembranosus odstupuje rovněž od tuber ischiadicum, širokou plochou šlachou běží až do poloviny délky svalu a dostává se až na mediální stranu kolene. Prostřednictvím tří pruhů se upíná na vnitřní plochu kondylu tibie, na zadní straně femuru se dostává až do kloubního pouzdra kolenního kloubu, kde se jako lig. popliteum obliquum inzeruje. Variabilně může být sval zdvojený či celý chybět. Značně proměnlivý je také poměr délky šlachy a svalového břicha svalu (Čihák, 2016; Woodley & Storey, 2013).

1.1.2 Kineziologické poznatky

Dolní končetina představuje orgán zajišťující oporu a lokomoci vzpřímeného těla po dvou končetinách. Bipedální lokomoce společně s vertikalizací páteře a přesunem těžiště do roviny kyčelních kloubů je jedním z předních znaků lidského motorického vývoje. Pro stabilní vertikalizaci lidského těla v prostoru je nezbytná fixovaná extenze dolních končetin, která je aktivně zajišťována tahem svalů zejm. m. gluteus maximus a m. tensor fasciae latae. Přenos síly vertikalizovaného trupu na pohybující se dolní končetině je zprostředkován pánví, která tak slouží k opoře pro dolní končetinu a s páteří tvoří funkční jednotku (Dylevský, 2009).

Z kineziologického hlediska je dolní končetina rozdělena do tří částí:

- pletenec dolní končetiny a kyčel
- oblast kolene
- hlezno a noha

Uzavřený a otevřený kinematický řetězec

Pro lepší přiblížení problematiky kinematických řetězců je nezbytné nejdříve definovat biokinematickou dvojici a biokinematickou smyčku. Biokinematická dvojice je definována jako dva segmenty těla spojené pohyblivou vazbou. Podle stupně volnosti rozlišujeme kinematikou dvojici rotační, posuvnou, valivou a obecnou. Biokinematická smyčka představuje mnohoúhelník, jehož strany jsou tvořeny segmenty těla a vrcholy určeny kinematickými dvojicemi.

Spojením několika kinematických dvojic vzniká kinematický řetězec, který je pro každý pohyb specifický a mění se v průběhu složitějšího pohybového sledu. Podle zakončení řetězce rozeznáváme otevřené kinematické řetězce (OKC), kde je poslední článek volný a který neobsahuje biokinematickou smyčku, a zavřené kinematické řetězce (CKC), kde je pohyb prováděn v proximální části a není zde volného konce. (Dvořák, 2005; Kračmar, Chrástková & Bačáková, 2016).

Volba kinematického řetězce v terapii HSI

Při terapii HSI se jako dominantní staví cvičení v CKC. Volba uzavřeného kinematického řetězce je důležitá zejména v začátcích rehabilitačního procesu, kdy je hlavním cílem dosažení lepší stabilizační funkce nosných kloubů. Při cvičení v CKC se také využívá odstupňování zátěže, kdy je vhodné na začátek volit posturálně jednodušší pozice nebo odlehčení pomocí např. elastických lan. V průběhu rekonvalescence je s výhodou jednotlivé cviky měnit, volit cviky posturálně náročnější a asymetrické a používat různé nestabilní podložky. Po zvládnutí cvičení v CKC je nezbytné zařadit do cvičebního programu i cvičení v OKC, u kterého dochází k nejrychlejšímu nacvičení pohybu.

V tréninku jsou proto vždy využity oba kinematické řetězce, s výhodou je však začínat rehabilitaci pacientů po HSI cvičením převážně v CKC a poté do cvičebního programu zařadit i OKC. Oba kinematické řetězce se běžně ve cvičebním plánu kombinují a doplňují (Dvořák, 2005).

1.2 Excentrická kontrakce

Excentrická kontrakce je forma svalové kontrakce, při které je zatížení svalu větší než vyvíjená síla, sval se prodlužuje a dochází tak k oddálení svalových úponů. Výsledkem je pohyb brzdící, který je častěji svaly kontrolovaný než iniciovaný. (Stoppani, 2016).

Velikost výsledné síly je dána řadou neuromuskulárních faktorů, jako je např. anatomický průřez svalu, úhel zpeření, aktivace alfa motoneuronů a nábor motorických jednotek. Dále také na rychlosti prodlužování svalu, rozmezí pohybu pracujícího svalu, procentuálním zastoupením jednotlivých typů svalových vláken a tzv. residual force enhancement (Lepley et al., 2017).

I přes velký počet studií, které se této problematice věnují, není v současnosti přesně objasněn mechanismus excentrické kontrakce (EC). S jistotou však víme, že při

EC dokáže sval generovat o 20–60 % větší svalovou sílu než při kontrakci koncentrické (KC). Zároveň je na stejné množství vykonané práce vyžadován menší počet aktivních svalových vláken a je spotřebováno i méně energie. Během EC dochází k brzdnému pohybu, na kterém se mimo kontraktálních elementů svalu přímo podílejí i nekontraktální složky svalu. Při pohybu tyto struktury kladou odpor proti směru zatížení svalu a dochází k jejich pasivnímu protažení. Takto pracující sval je proto schopen generovat větší svalovou sílu, než sval pracující v KC. Na molekulární úrovni je tato schopnost svalu vysvětlena interakcí bílkoviny titinu s myozinem a aktinem ve svalovém vlákně. Titin je obrovský elastický protein nacházející se v sarkomeře příčně pruhované svaloviny. Běží paralelně s aktinovými filamenty, spojuje se myozinovým filamentem a rozpíná se od Z linie do M linie. Titin ve svalu plní převážně mechanickou funkci, během svalové kontrakce sval stahuje a tvoří pasivní odpor působící proti protahujícímu se svalovému vlákně. Při svalovém stahu napomáhá vyvinout dostatečnou svalovou sílu a současně zajišťuje, že je myosinová oblast stále uprostřed sarkomery (Lowe & Anderson, 2015; Rassier, 2012).

Mimo rozdílů ve schopnosti generovat větší svalovou sílu se EC od kontrakce koncentrické liší i ve způsobu neurální strategie řízení pohybu. Další odlišnosti jsou patrné v energetickém krytí svalové práce při EC, rozvoji svalové síly a hmoty či v reakci těla na takto vznikající zátěž (Douglas, Pearson, Ross & Mcguigan, 2017).

1.2.1 Neurální strategie řízení

Neurální strategie řízení excentrické kontrakce se výrazně liší od strategie řízení koncentrické či izometrické kontrakce. Maximální EC je spojena se snížením centrální aktivace, kterou lze doložit sníženou hodnotou EMG amplitudy. Zároveň je však sval pracující excentricky schopen generovat větší svalovou sílu. Platí tedy, že na stejně velkou svalovou sílu konanou při koncentrické či izometrické kontrakci stačí svalu pracujícímu excentricky aktivovat menší počet svalových vláken. Bude tedy pracovat ekonomičtěji, spotřebuje méně kyslíku a energie. Rovněž vyvolá i menší odpověď kardiopiračního systému (Hody, Croiser, Bury, Rogister & Leprince, 2019).

Schopnost při EC generovat větší svalovou sílu se však promítá i do koordinace takto pracujících svalových vláken. Je-li na excentricky provedený pohyb nutné aktivovat méně motorických jednotek (MU), je také koordinace těchto MU horší. Pomocí twitch interpolation technique byl při maximální EC rovněž zjištěn i významný deficit ve

schopnosti aktivovat všechny v daném čase dostupné MU. Tento deficit se lišil u jednotlivých svalových skupin, prokazatelně vyšší byl však u netrénovaných jedinců, u kterých se snížil po zařazení těžkého odporového tréninku do cvičebního plánu.

Odlišná neurální strategie řízení je přítomna rovněž během submaximální i nízké EC svalu. Přesný mechanismus řízení není známý, ale předpokládá se, že se jedná o kombinaci supraspinálních a spinálních faktorů. Na supraspinální úrovni je během EC přítomna vyšší kortikální excitabilita a dochází rovněž k aktivaci větší části mozku. Na spinální úrovni řízení se podílejí aferentní signalizací Golgiho šlachová tělíska, svalová vřeténka a Renshawovy buňky (Douglas, Pearson, Ross & McGuigan, 2016). Renshawovy buňky jsou malé inhibiční interneurony asociované četnými kolaterálami s motoneurony předních rohů míšních, které předávají inhibiční signál okolním motoneuronům. Touto rekurentní cestou tak při stimulaci každého motoneuronu dochází k inhibici okolních motoneuronů (Alvarez, Benito-Gonzalez & Siembab, 2013). Právě tento mechanismus spinální inhibice je uváděn jako příčina snížené amplitudy EMG signálu během EC (Douglas et al., 2016).

1.2.2 Reakce těla na excentrickou zátěž

Jak již bylo zmíněno výše, srovnáme-li energetickou spotřebu metabolismu během excentrického a koncentrického cvičení, zjistíme, že na stejné množství vykonané práce svalem je při EC potřebné menší množství energie a méně aktivních motorických jednotek. Obdobná situace je ve spotřebě kyslíku pracujícím svalem, kdy jsou nižší hodnoty kyslíku potřebné pro chůzi z kopce (při stejné rychlosti) než při chůzi do kopce.

Rovněž kardiopulmonální systém reaguje značně odlišně na excentrické cvičení ve srovnání s koncentrickým. Aerobní excentrické cvičení (chůze z kopce, excentrická cyklistika na trenažeru) vyžaduje 4–5krát méně kyslíku, méně zatěžuje srdce, což lze demonstrovat na výrazně snížené srdeční práci a tepové frekvenci oproti koncentrickému cvičení při obdobné pracovní zátěži (Douglas et al., 2016).

Vedle řady pozitivních vlivů na lidský organizmus, způsobuje excentrické cvičení i velmi specifickou odpověď na zátěž. Zejména u jedinců, kteří na excentrické cvičení nejsou zvyklí či nesprávně regenerují, může dojít k rozvoji velkého pozátěžového diskomfortu, bolesti či úbytku svalové síly tzv. DOMS – delayed onset muscle soreness. Obdobně tyto symptomy mohou být přítomny u seniorů či starších osob, kteří s excentrickým cvičením nemají žádné, nebo jen malé zkušenosti. Často tak provádí příliš

náročné cviky či volí nevhodnou frekvenci jednotlivých excentrických cvičení (Hody et al. 2019). DOMS je vysvětlován výrazně vyššími hodnotami kreatinkinázy (CK) v krvi po excentrickém cvičení ve srovnání s podobně intenzivním cvičením, využívajícím kontrakci koncentrickou. Zajímavostí je však to, že bezprostředně po ukončení cvičení či s odstupem 5 a 10 hodin, dosahuje hodnota CK po koncentrickém cvičení vyšších hodnot než po cvičení excentrickém (Tabulka 1). Změny hodnot nastávají v odstavu 25 hodin po zátěži, kdy se po koncentrickém cvičení hodnoty CK postupně snižují, zatímco u excentrického cvičení dosahují svého maxima a rozvíjí tak zmíněný pozátěžový diskomfort (McArdle, Katch & Katch, 2010).

Soreness Ratings			Soreness Ratings		
Site	Concentric X	Concentric Eccentric X	Site	Concentric X	Concentric Eccentric X
Chest	2.3	5.1	Forearm (front)	1.7	3.4
Back (upper)	2.6	2.8	Forearm (back)	1.7	2.9
Shoulders (front)	2.2	3.6	Back (lower)	1.7	2.9
Shoulders (back)	1.9	3.6	Buttocks	1.8	2.5
Biceps (mid)	1.9	4.3	Quadricep (mid)	2.0	4.1
Biceps (lower)	1.8	3.5	Quadricep (lower)	2.1	3.8
Triceps (mid)	1.9	3.4	Hamstrings (mid)	2.1	3.5
Triceps (lower)	1.9	3.0	Hamstrings (lower)	2.1	3.0

Sample Time	CK Activity (mU · mL ⁻¹)	
	Concentric X	Concentric Eccentric X
Pre	86.7	126.9
5 h post	344.8	232.0
10 h post	394.3	368.5
25 h post	288.0	482.2

From Byrnes WC. Muscle soreness following resistance exercise with and without eccentric muscle actions. Res Q Exerc Sport 1985;56:283.
 *All differences between groups were statistically significant.
 X = mean

Tabulka 1. Akutní účinky koncentrického a excentrického cvičení na DOMS 25 hodin po cvičení (McArdle, Katch & Katch, 2010)

1.2.3 *Adaptace na excentrickou kontrakci*

Adaptace na excentrickou kontrakci představuje kombinaci fyziologických změn a změn v nervovém systému, které vznikají v důsledku opakované expozice těla na daný specifický pohyb či typ tréninku.

Při EC je zátěž působící na sval větší než síla, kterou sval generuje, sval se prodlužuje a výsledkem je brzdný pohyb. Na rozdíl od KC a izometrie, vznikají při EC četnější mikrotraumata a sval je vystaven podstatně většímu mechanickému napětí.

Poškození kontraktibilních i nekontraktibilních komponent svalu vyvolané kombinací přetížení a natažení je považováno za jeden z největších stimulů pro svalovou hypertrofii.

Neurální adaptace představuje změny nervového systému, které se přímo podílejí na řízení pohybu, lepší koordinaci a ekonomizaci pracujících svalů během pohybu. Dochází k ní na různých etážích nervového systému. Na úrovni: motorické kůry (zvýšená aktivace centrálního motoneuronu), spinální míchy (nižší excitabilita periferního motoneuronu) či nervosvalové ploténky (snížení presynaptické inhibice). Změny vznikající během neurální adaptace jsou tak podstatou zvýšení svalové síly, ke kterému dochází již po krátké době cvičení. Toto zlepšení nevzniká v důsledku zvýšení svalové hmoty, nýbrž je způsobeno neurální adaptací a na EMG lze proto pozorovat vyšší amplitudu EMG signálu (Hedayatpour & Falla, 2015).

1.2.4 Strukturální změny v důsledku excentrické kontrakce

Následkem excentrického tréninku dochází ke změnám kostní hustoty i hustoty minerálů v kosti, zejména kalcia. Během EC je sval schopen vyvinout větší sílu než při kontrakci koncentrické a tím je dosaženo výraznějšího pro-osteogenního stimulu na kostní tkáň. Takto získané vyšší hodnoty kostní denzity, nabyté v dospívání a časné dospělosti, zůstávají i po skončení sportovní činnosti dlouho dobu neměnné. Výrazně se tak ve stáří podílejí na snížení rizika rozvoje osteoporózy a jejich následků (McArdle, Katch & Katch, 2010).

1.3 Izometrická kontrakce

Rozdělíme-li svalovou kontrakci na základě parametrů vnější zátěže, rozsahu kontrakce a směru pohybové akce, získáme izometrickou a izokinetickou kontrakci. Při izokinetické kontrakci je generován pohyb, mění se vzdálenost začátku a úponu svalu a lze ji dále rozdělit na koncentrickou a excentrickou. Během izometrické kontrakce naopak pohyb nevzniká a vzdálenost začátku od úponu svalu se nemění. Délka svalu během kontrakce se podílí na velikosti celkové generované síly během izometrie. Má-li sval klidovou délku, generuje maximální sílu, odchylky od této neutrální délky svalu k delším či kratším hodnotám snižují velikost produkované síly (Cruz & Maitin, 2014).

Ačkoliv se tato diplomová práce věnuje především využití EC k diagnostice a následně v tréninku i k prevenci vzniku HSI, je zde také zmíněn druhý pohled na věc, který představuje uplatnění izometrické kontrakce. Navzdory většímu počtu studií, které

vyzdvihují benefit začlenění EC do tréninku běžců či fotbalistů, existují v odborné veřejnosti i autoři mající na tuto problematiku odlišný názor.

Právě takovou studii představuje práce autorů Van Hooren & Bosch (2016), která je rozsáhlou rešerší, přibližující problematiku biomechaniky odrazu nohy při sprintu a objasňující mechanismus vzniku HSI. K těmto záměrům využívá animální modely a výpočetní myoskeletální modelování.

1.3.1 Vliv izometrické kontrakce na mechanismus vzniku HSI

Stejně jako většina autorů tak i studie Van Hooren & Bosch (2016) udává největší procento vzniku HSI ve fázi konečného švihů a jako nejčastěji zraněný sval dlouhou hlavu m. biceps femoris. Odlišně však vnímají funkci hamstringů v krokovém cyklu při sprintu, kterou dále demonstrují na animálních modelech a prezentují ji s využitím výpočetního myoskeletálního modelování (viz Příloha 1). V mechanismu krokového cyklu vysvětlují zvětšující se vzdálenost mezi body šlacho-svalových spojů během švihů vpřed jako pasivní prodloužení. Později během švihové fáze udržují svalová vlákna napětí blízko izometrie, zatímco sériově řazené elastické elementy šlacho-svalového přechodu se nejdříve natahují, jak se koleno extenduje, a poté se po nashromáždění energie zkrátí. Toto zapříčiní zatáhnutí za švihovou dolní končetinu před tím, než se dotkne země. V těchto experimentálních studiích však bylo také zjištěno aktivní prodloužení svalových vláken během střední švihové fáze při sprintu. Autoři však o tomto prodloužení tvrdí, že se nejedná o excentrickou aktivaci svalu, nýbrž o efekt svalového uvolnění. Z tohoto důvodu zde nedochází k žádné signifikantní EC, ale především k izometrické kontrakci svalových snopců hamstringů během švihové fáze, kdy se body šlacho-svalových spojů pohybují od sebe. Na základě těchto tvrzení doporučují místo EC volit více specifickou terapii pro optimalizaci funkce hamstringů při sprintu. Současně udávají do souvislosti s vyšším rizikem vzniku HSI i pánevní oblast, která se významně podílí na koordinaci a řízení funkce hamstringů. Nutno však podotknout, že studie je pouze rešerší literatury, je založena na výpočetním myoskeletálním modelování a animálních modelech a nevyužívá zobrazovacích metod (Van Hooren & Bosch, 2016).

1.3.2 Vliv excentrické kontrakce na rozvoj svalové síly a hmoty

EC představuje efektivní způsob, jak rychle zvýšit svalovou sílu. V porovnání s koncentrickou kontrakcí je excentricky pracující sval schopen vyvinout větší sílu s menšími energetickými náklady a zpomalit tak nástup svalové únavy. Rozsáhlá

metaanalýza autorů Roig et al., (2009) uvádí, že volba excentrického tréninku je více efektivní při budování svalové hmoty než koncentrický trénink. Kromě mechanického faktoru, daného schopností generovat větší svalovou sílu, se na svalové hypertrofii dále podílí i hormonální vliv IGF-I, jehož hladina se prostřednictvím excentrického tréninku zvyšuje (Douglas et al., 2017).

1.4 Poranění ischiokrurální svalstva

Poranění hamstringů lze na základě mechanismu vzniku poranění rozdělit na kontaktní a bezkontaktní. Vyloučíme-li úrazy způsobené nárazem či jiným kontaktním způsobem, dostaneme skupinu úrazů se společným názvem hamstring strain injury (HSI). HSI je nejčastějším bezkontaktním zraněním u hráčů australského a amerického fotbalu, rugby, fotbalu, atletů a sprinterů. U týmových sportů tvoří v průměru 12–15 % ze všech sportovních zranění, u atletů a sprinterů dokonce 26 %. HSI je také zodpovědné za prolongované vyřazení sportovce ze sportovní aktivity. Průměrná délka této nucené absence přesahuje 28 dní a návrat ke sportovní aktivitě je spojen s vysokým nebezpečím recidivy. U hráčů fotbalu dochází k recidivám u 16 % zranění, u hráčů amerického fotbalu dokonce u 32 %. Ačkoliv v současnosti disponujeme velkým množstvím informací, týkajících se mechanismu úrazu, rizikových faktorů a vhodných preventivních opatření, stále je HSI jedním z nejčastějších sportovních úrazů, který i přes mnohdy dobře zvládnutou rehabilitaci často recidivuje (Opar, Williams & Shield, 2012).

1.4.1 Incidence sportovních úrazů

Rozsáhlá studie publikovaná Ekstrand, Hägglund & Waldén (2011) blíže přibližuje incidenci sportovních zranění během sedmi sezón (2001-2008) u 23 profesionálních fotbalových týmů vybraných organizací UEFA. Celkově bylo registrováno 4483 zranění, které se udály během 566 000 hodin hry, čímž dostáváme průměr 8,0 zranění/1000 hodin. Incidence úrazů byla znatelně vyšší v průběhu utkání než při tréninku (27.5 vs 4.1, $p < 0.0001$). Studie mimo jiné také potvrdila, že nejvíce úrazů vzniká z důvodu narůstající únavy v posledních minutách každého poločasu. Traumaticky vzniklé HSI bylo nejčastějším úrazem během soutěžní sezóny vůbec, zranění z opotřebení naopak dominovaly předsezónní přípravě (Ekstrand et al., 2011).

Během sedmi sezón byli hráči vystaveni zátěži 566 000 hodin hry, kdy 475 000 hodin zaujímal trénink a 91 000 hodin fotbalová utkání. 57 % všech úrazů vzniklo při

zápasu, 43 % pak během tréninku. Každý hráč v průměru utrpěl 2,0 zranění za sezónu, s různou dobou potřebnou k rekonvalescenci a chyběl tak 37 dní během každé sezóny. Nejčastějším typem zranění bylo se 17 % poranění stehna, z toho 12 % tvořily úrazy hamstringů a zbylých 5 % natržení kvadricepsu. Zranění byla rozdělena do 4 skupin podle délky potřebné k plné rekonvalescenci (viz Příloha 2). Opětovný vznik zranění zaujímal asi 12 %, jednalo se o natažení či natržení svalu a délka absence od sportovní aktivity byla delší než u prvního výskytu zranění (Ekstrand et al., 2011).

1.4.2 Incidence poranění hamstringů

Nejčastějším fotbalovým úrazem a velmi častým sportovním úrazem je HSI. Mezi nejvíce ohrožené skupiny sportovců patří hráči fotbalu, amerického, australského či gaelského fotbalu, rugby aj. Fotbal se těší největší oblibě ze všech sportů, a proto je pravděpodobně i nejvíce studií prováděno na hráčích fotbalu. Tyto data představují nesourodou skupinu informací, často jsou získávána z měření hráčů různých výkonnostních úrovní a nelze je tak mezi sebou porovnávat. Z tohoto důvodu jsou informace čerpány ze studií, které testovaly pouze profesionální hráče Ligy mistrů UEFA (Ekstrand et al., 2011).

Rozsáhlejší studie Ekstrand, Hägglund & Waldén (2016) hodnotila incidenci vzniku HSI během třinácti fotbalových sezón (2001-2014), rovněž u profesionálních fotbalových klubů vybraných organizací UEFA a byla zaměřena na změny počtu HSI v čase. Celkově bylo zjištěno 1614 případů, na 1000 hodin hry připadalo v průměru 1,2 zranění a 22 % hráčů alespoň jednou v sezóně utrpělo HSI.

Z celkového počtu HSI v průběhu 13 sezón vzniklo 1050 (65 %) během tréninku a 564 (35 %) během utkání. Incidence HSI byla devětkrát vyšší během zápasu než při tréninku (vztaženo k počtu hodin expozice). Zatímco roční procento výskytu HSI v utkání se neměnilo, v průběhu měření byl zaznamenán 4% nárůst zranění během tréninku. Vysvětlení se nabízí v současném trendu vystavit hráče srovnatelné zátěži jaká je během fotbalového utkání. Velmi časté a intenzivní tréninky, zaměřené na sprinterské dovednosti hráčů, spojené se změnami směru a rozvojem akcelerační rychlosti, vedou velmi často k zvýšenému výskytu HSI a vzniku sprinterských zranění. (Ekstrand et al., 2016).

Je-li ve fotbalovém týmu přítomno 25 hráčů, tak za sezónu tito prodělají dohromady 5-6 HSI, které je vyřadí z herní aktivity na více než 80 dní. Tento fakt má

svoji důležitost i z hlediska ekonomické stránky věci, kdy vyřazení hráče stabilně nastupujícího v A-týmu z důvodu HSI, je pro tým finanční zátěží okolo 500 000 €. Randomizované kontrolované studie, prováděné na dánských profesionálních a poloprofesionálních hráčích fotbalu potvrdily, že díky provádění NHE, jako formy excentrické cvičení, došlo k signifikatnímu snížení incidence HSI (Ekstrand et al., 2016). Zajímavé výsledky byly zjištěny ve studii Van der Horst, Smits, Petersen, Goedhart & Backx (2015), provedené na 579 nizozemských amatérských hráčích fotbalu. U skupiny hráčů, která 13 týdnů (celkem 25 cvičebních jednotek) prováděla NHE bylo zjištěno snížení rizika vzniku HSI (odds ratio, 0.282; 95% CI, 0.110-0.721) v porovnání s kontrolní skupinou.

Trénink excentrické síly je tak doporučen jako metoda léčby i prevence HSI. Problém však zůstává v osvojení a využití NHE trenéry evropských fotbalových týmů, kteří z různých důvodů tento druh tréninku u svých svěřenců nepoužívají (Ekstrand et al., 2016).

1.4.3 Mechanismus vzniku poranění

Jak již bylo zmíněno výše, tato práce se věnuje úrazům hamstringů, které nejsou způsobeny nárazem či jiným kontaktním způsobem. HSI jsou úrazy vznikající v důsledku přepnutí či přetížení hamstringů při sprintu a zranění způsobené přetažením hamstringů při pomalém běhu. Oba typy se od sebe liší mechanismem vzniku i lokalitou, kde dochází k poškození svalu. (Yu, Liu & Garret, 2017).

Pro lepší orientaci v problematice mechanismu poranění hamstringů jsou na tomto místě shrnuty jednotlivé fáze krokového cyklu (Obrázek 1). Definovat je lze pomocí několika názvosloví, např. podle Perryho (1992) či podle Vaughana (1992). V této diplomové práci je využito názvosloví dle Perryho (Kolář, 2009):

1. Inicial contact (počáteční kontakt)
2. Loading response (reakce na zatížení)
3. Midstance (střed stojné fáze)
4. Terminal stance (konečný stoj)
5. Preswing phase (předšvihová fáze)
6. Initial swing (počáteční švih)
7. Midswing (střed švihové fáze)
8. Terminal swing (konečný švih)

Mechanismus poškození hamstringů při sprintu

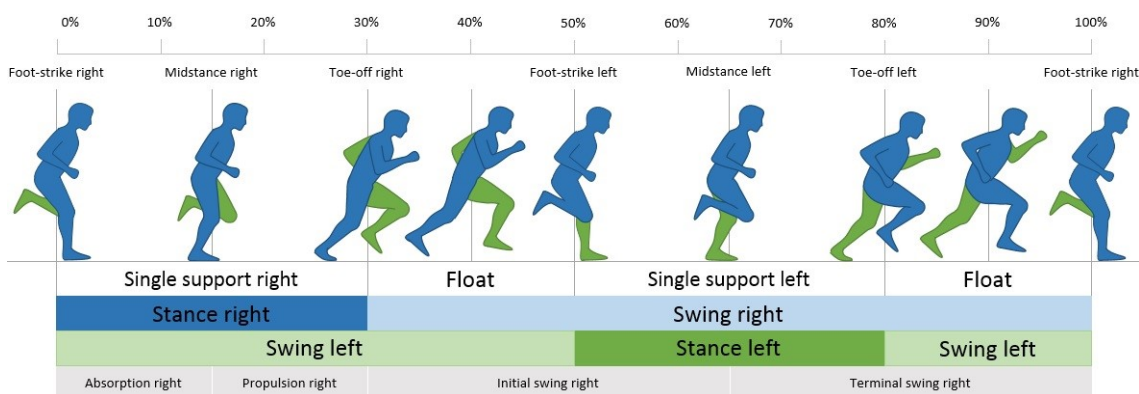
Jedná se o častější mechanismus poškození hamstringů, ke kterému dochází při sprintu během konečné fáze švihů krokového cyklu. Z hlediska biomechaniky dochází v druhé polovině švihové fáze k aktivnímu prodloužení (excentrické kontrakci) hamstringů a k absorpci energie brzdící dolní končetiny připravující se na kontakt se zemí (podložkou). M. biceps femoris (BF) se během tohoto aktivního prodloužení musí silně aktivovat, aby zbrzdil extendující koleno a flektující kyčel. V tomto bodě je BF vystaven největšímu protažení, v porovnání s m. semitendinosus (ST) a dosahuje až 110 % své původní délky při vzpřímeném stoji. Ve fázi konečného švihů je tak BF, z důvodu vysoké aktivace v prodlouženém stavu, v mimořádně zranitelné pozici (Yu, Liu & Garret, 2017).

Mechanismus poškození hamstringů při běhu, chůzi nebo jiném pomalém pohybu

Odlíšným mechanismem dochází k poškození hamstringů např. u tanečníků nebo při strečinku. Je-li současně flektována kyčel a extendováno koleno, dostávají se hamstringy do extrémního prodloužení. Za těchto okolností dochází velice často k poškození proximální části m. semimembranosus. Tento mechanismus zranění je sice méně bolestivý, ale zpravidla vyžaduje delší rekonvalescenci než poranění m. biceps femoris při sprintu. I přesto, že se od sebe oba typy odlišují, volený rehabilitační přístup bývá většinou stejný (DeWitt & Vidale, 2014).

Obrázek 1. Fáze krokového cyklu při běhu

(Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Run_cycle.jpg)



1.4.4 Klasifikace poranění

Existuje několik škál hodnocení HSI, nejčastěji se setkáváme s tou rozdělující poškození hamstringů na tři stupně: natažení, parciální ruptura a kompletní ruptura. K upřesnění míry poškození slouží např. klasifikace anatomicky orientované a klasifikace využívající zobrazení pomocí MRI a ultrazvuku (Malliaropoulos, 2012).

Anatomický náhled na problematiku pracuje s popisem zobrazení prostřednictvím MRI či ultrazvuku, které hodnotí rozsah poškození svalu v akutním stádiu. Poškození hamstringů se v závislosti na lokalizaci rozděluje na proximální, střední a distální. Anatomicky dále rozlišuje intramuskulární, myofasciální, myofasciálně-perifasciální a myotendinózní typ poškození.

Vážnost poranění hamstringů a délka následné rehabilitace se kromě rozsahu poškození odvíjí i od vzdálenosti poškozeného místa od sedacích hrbolů a od přítomnosti intramuskulárního hematomu. Obecně platí, že čím je tato vzdálenost menší, tím je potřebná rehabilitace delší. Zobrazení prostřednictvím muskuloskeletálního ultrazvuku (MSK) využívá 3 stupňové klasifikace, hodnotící rozsah poškození svalových vláken:

- 1. stupeň – méně než 5 % svalových vláken je poškozeno
- 2. stupeň – parciální ruptura s více než 5 % poškozenými vlákny
- 3. stupeň – kompletní ruptura svalu

Vyšetření MRI se zaměřuje na určení přesné lokalizace a velikosti poškození svalu a napomáhá tak lékaři odhadnout čas potřebný k rehabilitaci. Tohoto se nejčastěji využívá u profesionálních atletů či jiných sportovců k určení doby vyřazení z vrcholové sportovní aktivity. Klasifikace poranění je rozdělena do 4 stupňů:

- 0. stupeň – bez patologického nálezu
- 1. stupeň – pouze otok svalu bez poškození svalových vláken
- 2. stupeň – parciální svalová ruptura
- 3. stupeň – kompletní svalová ruptura (Malliaropoulos, 2012).

V některých rozsáhlejších studiích zaměřených na monitorování ročního výskytu HSI se často setkáváme s jiným a více praktickým hodnocením vzniklých HSI. Jedná se převážně o studie na hráčích fotbalu. Vážnost zranění je zde určena podle počtu dnů nezbytných k rekonvalescenci, během kterých je hráč vyřazen z plného tréninkového zatížení (Ekstrand et al., 2016).

- 0-3 dny – nepatrné zranění
- 4-7 dnů – lehké zranění
- 8-28 dnů – středně závažné zranění
- < 28 dnů – vážné zranění

1.4.5 Epidemiologie vzniku HSI

Díky velkému zájmu o problematiku HSI ze strany sportovních klubů a tělovýchovného lékařství máme v současnosti k dispozici značné množství studií a informací popisujících rizikové faktory vzniku HSI. V závislosti na možnostech terapeutického zásahu je rozdělujeme na rizikové faktory ovlivnitelné a neovlivnitelné (Opar et al., 2012).

Rizikové faktory neovlivnitelné

Pohlaví

Většina informací týkajících se rizikových faktorů v této podkapitole je čerpána z často citované studie Opar et al. (2012) a metaanalýzy autorů Freckleton & Pizzari (2013). Ani v jedné z těchto prací však není uvedena informace dávající do souvislosti vliv pohlaví na riziko vzniku HSI.

Podle studie autorů Cross, Gurka, Saliba, Conaway & Hertel (2013), která srovnávala incidenci a počet recidiv HSI u hráčů a hráček fotbalu americké univerzitní ligy, jsou muži o 64 % náchylnější ke vzniku HSI než ženy (IRR, 1.64; 95% CI, 1.37-1.96). Data byla sbírána v letech 2004–2009, byla zaměřena na počet případů HSI vzniklých při zápasu a tréninku a během předsezónní přípravy a v průběhu sezóny. Muži měli vyšší incidenci výskytu poranění HSI jak během zápasů (IRR, 2.42; 95% CI, 1.82-3.23) tak i tréninku (IRR, 1.34; 95% CI, 1.06-1.68). V rámci předsezónní přípravy nebyl zjištěn rozdíl mezi pohlavími, během sezóny byli náchylnější ke vzniku HSI muži (IRR, 1.98; 95% CI, 1.56-2.52). Rovněž vyšší sklon k recidivám byl patrný u mužů (22 %) než u žen (12 %) (Cross et al., 2013).

Obdobné závěry publikovali i autoři Larruskain, Lekue, Diaz, Odriozola & Gil (2018), kteří ve své studii porovnávali epidemiologii sportovních úrazů u elitních hráčů a hráček fotbalu stejného fotbalového týmu během pěti sezón. Souhrnně strávili muži v průměru na jednoho hráče o 20 % více času než ženy, ať už během tréninku či zápasu. Byli náchylnější ke vzniku HSI (muži: 95% CI, 1.52, 1.18-1.96; ženy 95% CI, 0.79, 0.51-1.22) a rovněž z důvodu zranění v průměru strávili i delší dobu mimo sportovní aktivitu (muži 19 dnů; ženy 6 dnů).

Věk

Věk jako rizikový faktor, podílející se na vzniku HSI uvádí řada studií zabývajících se hráči fotbalu a australského fotbalu. U fotbalistů je udáváno zvýšené

riziko vzniku HSI u hráčů starších 23 let a u hráčů australského fotbalu je hranice tvořena 23–24 rokem (OR = 4,4; 95% CI 1.6, 12,5). Věk je jako rizikový faktor uváděn zejména proto, že v důsledku stárnutí roste tělesná hmotnost, ubývá svalové hmoty, přibývá tuku, dochází ke zkrácení flexorů kyčelního kloubu a snížení rozsahu pohybu v kolenu a v kyčli. Určitý vliv má také snížení svalové hmoty a síly svalů, které je nejvíce patrné v důsledku ageingu u starších atletů (Opar et al., 2012).

Předchozí zranění

Předchozí zranění je podle většiny autorů nejzávažnějším rizikovým faktorem podílejícím se na opětovném vzniku HSI. U profesionálních hráčů fotbalu, kteří v minulosti utrpěli HSI, se zvyšuje riziko recidivy v budoucnu 11,6krát (OR; 95% CI 3.5, 39.0). Proto je vždy na prvním místě pečlivá diagnostika, zjištění příčiny vzniku HSI a terapeutické ovlivnění působících predispozičních faktorů. Jedině takto může být správně indikována rehabilitace či jiná potřebná intervence. V opačném případě je rehabilitační péče téměř vždy nedostatečná, protože necílí na hlavní problém, a může tak potencovat řadu maladaptivních poúrazových změn. Často tak dochází ke vzniku nefunkční jizevnaté tkáně, která působí chronickou bolest, mění biomechaniku celé dolní končetiny a snižuje excentrickou svalovou sílu (Opar et al., 2012).

Rozsáhlá metaanalýza, publikovaná Freckleton & Pizzari (2013) na 2952 sportovcích, zahrnuje 31 studií (14 z nich zkoumalo HSI u hráčů australského fotbalu, 10 u hráčů fotbalu, 5 u atletů a 2 u hráčů rugby) a udává předchozí zranění hamstringů rovněž jako klíčový rizikový faktor, výrazně zvyšující recidivu zranění v budoucnu (RR = 2.68, 95% CI 1.99 to 3.61, $p = 0.00$).

Etnikum

Za rizikový faktor vzniku HSI je rovněž považována příslušnost k některým etnikům. Týká se to afrického etnika ($p < 0.05$) a Aboridžinců ($p < 0.05$) (Freckleton & Pizzari, 2013). Příčinou je pravděpodobně vyšší koncentrace svalových vláken druhého typu v kosterní svalovině společně s typicky větším anteriorním klopením pánve u těchto jedinců. Pro malé množství studií však nelze spojitost mezi vznikem HSI a vlivem etnické příslušnosti uspokojivě vysvětlit (Opar et al., 2012).

Rizikové faktory ovlivnitelné

H:Q_{CR}

Síla hamstringů a kvadricepsu patří mezi důležité ovlivnitelné rizikové faktory podílející se na vzniku HSI. Správná koaktivace těchto svalů je nezbytná pro zajištění stabilizace kolenního kloubu. Míra funkčnosti tohoto agonisticko-antagonistického spojení je hodnocena nejčastěji pomocí tzv. conventional ratio ($H:Q_{CR}$), tedy poměru maximálních momentů sil hamstringů a kvadricepsu při koncentrické činnosti a úhlové rychlosti $60^\circ/s$. Při snížení hodnoty ($H:Q_{CR}$) pod hranici 0,505 dochází k významnému zvýšení nebezpečí vzniku HSI (OR = 3,14; 95% CI, 1,37–2,22). Intraartikulární struktury kolenního kloubu jsou vystaveny většímu a nerovnoměrnému zatížení v klidu i v pohybu a je rovněž výrazně změněna celá biomechanika pletence dolní končetiny (Lee, Mok, Chan H., Yung & Chan K, 2018).

Podle autorů Rosene, Fogarty & Mahaffey (2001) by normální hodnota ($H:Q_{CR}$), při úhlové rychlosti $60^\circ/s$, měla být v rozmezí 0,5–0,8. V ideálním případě je poměr aktivace roven jedné. Tehdy je stabilizační funkce hamstringů optimální, snižuje se riziko předozadní subluxe tibie a klesá i nebezpečí poškození předního zkříženého vazů.

V současnosti však neexistuje jednotný názor na to, při jakých úhlových rychlostech provádět hodnocení $H:Q_{CR}$. Nejčastěji se setkáváme s měřením $H:Q_{CR}$ při úhlové rychlosti $60^\circ/s$, používají se však i jiné hodnoty ($180^\circ/s$ a $300^\circ/s$). Dále existují i jiné způsoby hodnocení $H:Q$, jako je např. tzv. function $H:Q$ ratio, které srovnává poměr maximálních momentů sil excentricky pracujících hamstringů a koncentricky aktivovaného kvadricepsu (Freckleton & Pizzari, 2013).

Svalová síla

Dalším faktorem, který se podílí na zvýšeném riziku vzniku HSI, je stranová asymetrie ve svalové síle hamstringů. Dolní končetina se slabšími hamstringy je více náchylná ke vzniku HSI. Jako hraniční hodnota stranové asymetrie síly hamstringů je u hráčů australského fotbalu uváděn rozdíl větší než 8 %, u hráčů amerického fotbalu a atletů 10 %, pro fotbalisty je rizikový stranový rozdíl 15 % a více. Někteří autoři naopak tvrdí, že takto malé stranové rozdíly nemají prokazatelný vliv na vznik HSI a nelze tak stranovou asymetrii v bilaterální síle hamstringů považovat za rizikový faktor (Opar et al., 2012).

Obdobně je za rizikový faktor vzniku HSI považována i snížená excentrická svalová síla hamstringů. Nejčastěji k ní dochází v době po HSI, kdy je jedinec již zpět v plném sportovním zatížení, ale excentrická svalová síla hamstringů je stále nižší než před zraněním. Důvodů, proč k tomuto dochází, je několik. Ve většině případů je hlavní

příčinou nedostatečně dlouhý čas potřebný k rekonvalescenci či nesprávně volený tréninkový plán. Jedním ze způsobů, jak měřit excentrickou svalovou sílu hamstringů, je izokinetický dynamometr. Právě ten ve své studii použili autoři Lee et al. (2018), kteří testovali maximální moment sil excentricky pracujících hamstringů při úhlové rychlosti 30°/s. Celkem 169 profesionálních hráčů fotbalu bylo před zahájením sezóny takto otestováno. Výsledky ukázaly, že ti hráči, kteří při měření nedosáhli na hodnoty maximálních momentů excentricky pracujících hamstringů větších než 2,4 Nmkg⁻¹, měli výrazně větší riziko vzniku HSI během sezóny (OR = 5.59; 95% CI, 2.20-12.92). Lze proto doporučit, jako formu terciální prevence profesionálním fotbalovým týmům, měření excentrické síly hamstringů u těch hráčů, kteří se po HSI vrací opět do soutěžního zatížení.

Svalové zkrácení

Zkrácení hamstringů je v laické i odborné veřejnosti často diskutováno ve spojitosti s vyšším rizikem vzniku HSI. Předpokládá se, že má-li sval optimální délku a svalový tonus, jsou schopny nekontraktální části myotendinózní junkce lépe absorbovat energii vznikající při pohybu a snížit tak riziko vzniku HSI. Obecně uznávaným standardem testování zkrácených svalů je vyšetření zkrácených svalových skupin dle Jandy. Pro hodnocení míry zkrácení hamstringů se zejména v zahraničí používají i některé jiné specifické testy jako např. sit-and-reach test, toe-touch test a straight-leg-raise test. Problém však nastává v oblasti interpretace výsledků těchto testů. V současnosti neexistují žádné standardy, podle kterých by bylo možné spolehlivě rozhodnout, zda zjištěné zkrácení hamstringů bude mít prokazatelně spojitost se vznikem HSI či nikoliv (Opar et al., 2012).

Touto problematikou se zabývala i rozsáhlá metaanalýza autorů Freckleton & Pizzari (2013). Ta obsahovala data celkem z pěti studií, kde bylo zkrácení hamstringů měřeno pomocí active knee extension (AKE) test a ze tří studií, kde byl využit passive knee extension (PKE) test. Obdobně ani zde nebyla prokázána spojitost vyššího rizika vzniku HSI a zkrácení hamstringů.

Svalová únava

Nárůst svalové únavy v důsledku sportovní aktivity je bezpochyby důležitým rizikovým faktorem. Je prokázáno, že výrazně větší množství HSI vzniká v druhé polovině nebo až na závěr zápasu či tréninku. Za jeden z klíčových faktorů se považuje snížení excentrické síly hamstringů, které je důsledkem rostoucí svalové únavy. Projevuje

se změnou biomechaniky kyčle a kolene zejména ve fázi konečného švihů. Zde tak dochází k větší extenzi v kolenním kloubu a omezení rozsahu flexe v kyčli, které se projeví horší ekonomozací běhu a větším natažením hamstringů. Je-li tento mechanismus opakován pravidelně a není včas řešen, může dát vzniknout četným mikrotraumatům a přispět k rozvoji HSI. Kromě přímého vlivu na myoskeletální aparát má únava i negativní vliv na koncentraci sportovce, projevující se sníženou pohybovou koordinací a herní technikou (Opar et al., 2012).

1.5 Klíčové aspekty klinického vyšetření

Klinické vyšetření je základním nástrojem fyzioterapeuta a zpravidla se skládá z anamnézy, aspekce, palpce, vyšetření rozsahu pohybu a vyšetření síly. Dále také obsahuje řadu specifických testů a metod v závislosti na diagnóze pacienta. Pomáhá nám co nejlépe zjistit rozsah a vážnost poškození, přesně stanovit prognózu pacienta a určit potřebnou dobu k rekonvalescenci.

Ačkoliv existuje velké množství publikací věnujících se sportovní traumatologii, v žádné z nich jsem nenašel uspokojivě shrnuté informace týkající se vyšetření pacienta s hamstring strain injury. Z hlediska tématu této diplomové práce však není potřebné zde vypisovat jednotlivé části rozsáhlého klinického vyšetření. Bylo by to zdlouhavé a jednalo by se pouze o rešerši dostupné literatury. Pro potřeby této práce jsem jedince s HSI rozdělil do čtyř skupin:

- Zdraví jedinci, bez aktuálních potíží, nemající HSI v anamnéze.
- Zdraví jedinci, kteří v minulosti jedenkrát prodělali HSI (před více než půl rokem).
- Pacienti, kteří HSI prodělali dvakrát a vícekrát.
- Pacienti, kteří utrpěli HSI v nedávné době a jsou z tohoto důvodu vyřazeni ze sportovní či jiné činnosti.

Předmětem zájmu této práce jsou jedinci z první a druhé skupiny. Tedy ti, kteří subjektivně nepocítují žádné problémy a pravidelně provádí na amatérské či poloprofesionální úrovni nějakou sportovní aktivitu. U této skupiny jedinců jsem se, s pomocí literatury a výše popsaných rizikových faktorů snažil zjistit, zda existují nějaké aspekty klinického vyšetření, které by u asymptomatického jedince mohli odhalit potenciaální riziko vzniku HSI. Cílem je zde uvést tyto klíčové oblasti lidského těla

a případně navrhnout možné klinické testy a vyšetření, které jsou použity i v protokolu k praktické části (viz Příloha 3).

Postavení pánve

Pánev se zcela zásadně podílí na udržování stability a správného držení těla. Odchylky v oblasti trupu a končetin se významně podílejí na změně postavení pánve. Dochází tak k vychýlení pánve v předozadním směru (anteverze, retroverze), posunům laterálně, rotaci či torzi. Je-li pánev v anteverzi či retroverzi, dochází k poruše koaktivace mezi paravertebrálními svaly a svaly ovlivňujícími nitrobršišní tlak a k výrazným poruchám posturální stabilizace. Odchylky od fyziologického nastavení pánve mají významný vliv i na svaly na ni upínající se. Často tak dochází k narušení souhry ischikrurálních svalů a flexorů kyčelního kloubu, která může vést např. ke vzniku svalových dysbalancí a změně biomechaniky chůze a běhu. Pro optimální funkčnost hamstringů je proto nezbytné neutrální nastavení pánve (Kolář, 2009).

Posturální svalová stabilizace

Zcela klíčové místo zaujímá v problematice vzniku HSI i stabilizační systém páteře, podílejší se na zajištění postury sportujícího jedince. Právě postura je významný etiopatogenetický faktor vzniku různých poškození, ke kterým dochází na základě chronicky se opakující nesprávné posturální zátěže. Nejedná se tedy o náhodně vzniklá poranění, ale o výsledek působení vnitřních sil během neoptimální posturální situace. Na vině je centrální nervový systém jedince, který pro zajištění postury mnohdy volí nevhodné svalové souhry a dává vzniknout svalovým dysbalancím, přetížení určité oblasti, funkčním a následně i strukturálním poruchám. Stejný mechanismus pozorujeme i při poruchách posturální stabilizace páteře ve vztahu k HSI. U jedinců, kteří v minulosti prodělali HSI jsou tak během různých posturálních situací patrné projevy poruch posturální stabilizace. Posturální stabilizační funkci páteře zajišťuje systém ventrální a dorzální muskulatury společně s bráničí a svaly pánevního dna a lze ho vyšetřit pomocí série funkčních testů. Pro potřeby této práce byly v protokolu praktické části použity následující funkční testy (Kolář, 2009).

- extenční test
- test extenze v kyčlích
- brániční test
- test hlubokého dřepu
- test polohy na čtyřech

Lumbopelvické svalstvo a sakroiliakální skloubení

Při terapii HSI a zejména při léčbě chronických recidivujících zranění hamstringů je vždy nezbytné provést komplexní kineziologické vyšetření celého pánevního pletence. Etiologie bývá často multifaktoriální a je tak obtížné zjistit vyvolávající příčinu celého problému. Odchytky od fyziologického postavení pánve, dysbalance lumbopelvického svalstva či blokády sakroiliakálního skloubení, to vše se přímo podílí na změně biomechaniky pletence pánevního a ovlivňuje i funkčnost hamstringů. Z důvodu asymetrie nebo antevertze pánve jsou hamstringy, zejména v blízkosti svého začátku na tuber ischiadicum, vystaveny zvýšenému napětí. Dochází k jejich přetěžování, ke vzniku kompenzačních mechanismů, které se mnohdy manifestují jako blokády sakroiliakálního skloubení. Antevertzi pánve spolu s kontralaterálním natažením hamstringů způsobuje i homolaterální hypertonus m. iliopsoas. Při sprintu pak dochází k zvýšení antevertze pánve ve fázi počátečního švihu a následně zvýšení natažení kontralaterálního hamstringu ve fázi konečného švihu (Heiderscheit, Sherry, Silder, Chumanov & Thelen, 2010).

Další důležitou skupinou svalů je gluteální svalstvo, které provádí extenzi v kyčli, podílí se i na abdukci, addukci a zevní rotaci a zajišťuje stabilitu pánve. Při insuficienci těchto svalů vzniká porucha stability pánve ve frontální rovině, projevující se značnou nestabilitou při chůzi i běhu. Kompenzačním mechanismem tak dochází ke vzniku hypertonu hamstringů, k jejich přetěžování, které může skončit až vznikem HSI. Stabilitu pánve lze orientačně vyšetřit např. pomocí Trendelenburg-Duchennovy zkoušky či single leg sit to stand testu (Panayi, 2010).

Vyšetření zkrácených svalových skupin dle Jandy

Kromě vyšetření jednotlivých klíčových oblastí, které mají přímou souvislost s funkcí hamstringů a rizikem vzniku HSI, je vhodné provést i vyšetření zkrácených svalových skupin. Cílem je orientačně zjistit pasivní rozsah pohybu v kloubu v takové pozici a směru, abychom testovali pouze přesně danou determinovanou svalovou skupinu. Zkrácení svalu je jedním z dobře ovlivnitelných rizikových faktorů, a proto je vhodné ve vztahu ke vzniku HSI testovat zkrácení těchto svalových skupin (Janda, 2004):

- flexorů kyčelního kloubu
- flexorů kolenního kloubu
- adduktorů kyčelního kloubu
- paravertebrálního svalstva

1.6 Benefity excentrického cvičení NHE ve vztahu k HSI

Excentrická síla hamstringů je považována za jeden z klíčových rizikových faktorů a její snížení je spojeno s vyšším rizikem vzniku HSI. Excentrická kontrakce jako forma cvičení se uplatňuje zejména u hráčů, kteří prodělali HSI a připravují se na návrat do plného sportovního zatížení. Možnými excentrickými cviky jsou např. nordic hamstring exercises (NHE) či slide leg exercise (SLE). Tréninkový program se zařazenou terapeutickou formou EC se významně podílí na zvýšení excentrické síly hamstringů, zlepšení koaktivace mediálních a laterálních hamstringů a zkrácení doby potřebné k rekonvalescenci hráče. Současně také dlouhodobě přispívá k adaptaci hamstringů na excentrickou aktivitu, které jsou vystaveny při běhu a sprintu (Shield & Bourne, 2018).

Studie referující obrovský benefit, které zařazení EC do tréninkového plánu má, byla provedena autory Petersen, Thorborg, Nielsen, Budtz-Jørgensen & Hölmich (2011) na celkem 942 amatérských a profesionálních hráčích fotbalu. Probandi byli před začátkem sezóny rozděleni do dvou skupin. V první intervenční skupině prováděli hráči po dobu 10 týdnů navíc NHE, v druhé kontrolní se účastnili pouze běžného tréninkového programu. Cílem bylo zhodnotit celkový počet HSI, počet nových a recidivujících HSI, které se vyskytly v jednotlivých skupinách během uplynulé jedné fotbalové sezóny. Výsledky byly překvapivé, protože na 100 hráčů v intervenční skupině vycházelo v průměru jen 3,8 HSI, v porovnání s 13,1 v kontrolní skupině. Rozdíl v počtu recidivujících HSI mezi skupinami byl ještě markantnější (7,1 intervenční skupina; 45,8 kontrolní skupina). Na této studii lze dobře demonstrovat, že excentrické cvičení v tomto případě zastoupené NHE, má smysl zařazovat do tréninkového plánu nejen u hráčů, kteří utrpěli HSI, nýbrž i u hráčů bez HSI v anamnéze.

Kromě pozitivního vlivu NHE na incidenci vzniku HSI byly zjištěny i další benefity vznikající v důsledku adaptace těla na excentrické cvičení. Studie autorů Siddle et al. (2018) na dvou skupinách hráčů fotbalu porovnávala klasický tréninkový plán a tréninkový plán rozšířený o NHE a hodnotila následující parametry: excentrickou izokinetickou sílu hamstringů, čas při krátkém 10 metrovém sprintu a čas při sprintu se změnami směru tzv. change of direction (COD) performance. Hráči obou skupin se po celou dobu měření normálně účastnili jak zápasů, tak tréninků. Hráči intervenční skupiny však navíc po dobu 6 týdnů prováděli NHE. Měření parametrů bylo prováděno celkem třikrát. Před zahájením experimentu, po ukončení 6 týdenního tréninku a následně po 3 týdnech detréningu. Získané výsledky ukázaly signifikantní zlepšení u skupiny cvičící

NHE ve všech hodnocených parametrech (EC síla 31.81 Nm^{-1} vs. 6.44 Nm^{-1} , $p = 0.001$; COD (-0.12 s vs. 0.20 s ; $p = 0.003$ a sprint -0.06 s vs. 0.05 s ; $p = 0.024$). Zlepšení přetrvávalo u COD a sprintu i po 3 týdnech detréningu, v případě EC síly nikoliv. Na základě těchto výsledků můžeme vyzdvihnout i další benefity excentrického cvičení. Současně je však také nezbytné poukázat na nutnost provádět NHE pravidelně, je-li naším cílem si získanou excentrickou sílu hamstringů udržet.

I přes velké množství informací týkajících se benefitů zařazení NHE do tréninkového plánu, stále neexistuje jednotný názor na to, jak dlouho a s jakou frekvencí toto cvičení provádět. V praxi se tak často setkáváme dokonce i s absencí excentrického tréninku a to nejen u rekreačních a poloprofesionálních sportovců, ale i u profesionálních hráčů. Podle průzkumu UEFA pouze 5 z 32 dotazovaných klubů (16 %) uvedlo, že toto excentrické cvičení pravidelně provádí. Podle průzkumů však je s NHE obeznámeno více než 88 % dotazovaného klubového personálu. Absence cvičení je tak často zapříčiněna nedostatkem času hráčů nebo z důvodu nahrazení např. odporovým tréninkem. V některých případech byl jako důvod vynechání NHE či EC uváděna i nízká compliance cvičenců (Ekstrand et al., 2016).

Není nutné vždy z excentrického cvičení volit právě NHE. Jedná se sice o velmi efektivní cvičení, ale na výběr jsou i další účinné excentrické cviky jako je např. hamstring bridge, fitball flexion či single leg slide. Vybraný cvik by tak měl být přizpůsoben individuálním potřebám každého sportovce. V případě volby NHE u hráčů fotbalu lze za vhodné dávkování cvičení považovat to, uvedené ve studii Thorborg (2012). Autor zde zařazuje NHE do tréninkového plánu jako formu preventivního opatření vzniku HSI. Pro tento účel doporučuje využít zimní fotbalovou přestávku, která vychází nejčastěji na přelomu ledna a února. Z důvodu nízké compliance k NHE a možnému rozvoji DOMS u hráčů se využívá pouze 10 opakování v jedné sérii. První týden tréninkového plánu je NHE prováděno pouze jednou. Druhý týden se NHE začleňuje do tréninku dvakrát týdně, pokaždé po 10 opakováních. 3. – 10. týden se frekvence navyšuje na třikrát týdně. Zbytek roku se získaná excentrická síla udržuje pomocí cvičení NHE pouze jedenkrát týdně (Thorborg, 2012).

1.7 Sledované cviky a pohyby hodnocené pomocí EMG

1.7.1 *Nordic hamstring exercise*

V literatuře se můžeme také setkat s názvy nordic hamstring curl, bodyweight nordic curl či russian hamstring curl. Při NHE dochází pomocí EC hamstringů k řízení rychlosti náklonu trupu vpřed, mění se úhel v kolenou, který se z původních 90° flexe snižuje až na 60–40° (v závislosti na trénovanosti probanda). Pohyb se uskutečňuje v UKC (Obrázek 2) (Miller & Thomson, 2014).

Existuje mnoho variant a modifikací NHE např. s využitím externí zátěže, TRX či jiných cvičebních pomůcek. Pro přesnější laboratorní měření lze použít různá experimentální zařízení, která nahrazují fixaci bérce probanda terapeutem (viz Příloha 4). V této diplomové práci je však využito varianty, při které není aplikována žádná externí zátěž na probanda, cvičí se jen s vlastní vahou a bérce probanda jsou fixovány terapeutem. Pro dosažení komfortu a snížení tlaku na kolenní klouby, bylo cvičení prováděno na podložce Thera-Band.

Výchozí poloha:

Klek s koleny v 90° flexi, postavenými od sebe na šířku kyčlí. Pánev je v neutrálním postavení, páteř v napřimení a v kyčli je zachováno 0° extenze. Holeně a kotníky jsou položeny na podložce a HKK jsou překříženy na prsou. Terapeut klečí za pacientem, ruce má položené na oblast hlezna a tlakem rukou fixuje bérce probanda k podložce. Je nezbytné, aby terapeut po celou dobu cvičení udržel bérce v kontaktu s podložkou. Pokud by se toto z jakéhokoliv důvodu nestalo, nelze měření považovat za přesné a je nutné je zopakovat.

Provedení a pokyny pro probanda: „Vaším cílem je provést kontrolovaný a plynulý náklon trupu vpřed a dosáhnout co největšího rozsahu pohybu. Z tohoto důvodu je nezbytné, aby byl pohyb prováděn pomalu. Snažte se udržet napřimená záda. V určitém momentu pohybu pravděpodobně nastane zlom, kdy již vaše hamstringy nezvládnou pohyb proti gravitaci řídit a dojde k pádu vpřed. Pomocí rukou pád ztlumíte, následně 1s setrváte vleže na podložce a poté se tlakem přes dlaně pomalu vrátíte zpět do výchozí pozice“.

Ostatní informace:

Cvik je prováděn vždy třikrát a mezi jednotlivými opakování je 30s pauza. Při cvičení je současně měřeno EMG. V případě vyskytnutí jakýchkoliv komplikací dojde k přerušení testování.



Obrázek 2. Výchozí poloha pro NHE (Malliaropoulos et al., 2015)

1.7.2 Nordic hamstring exercise – plyometric variant

Podstatou plyometrie je explozivní KC, která následuje po předcházející EC. Plyometrická varianta NHE se od výše uvedeného NHE liší pouze v následujícím: Po vyčerpání aktivního brzdného pohybu a pádu trupu vpřed, je návrat probanda zpět do výchozí pozice zajištěn KC hamstringů. Proband tedy nesetrvává vleže, pouze dlaněmi zbrzdí pád a aktivně se vrací zpět a pokračuje dalším opakováním celého cvičení.

Plyometrická varianta NHE byla rovněž opakována třikrát. Mezi opakováními nebyla žádoucí pauza a pohyby na sebe měly navazovat. Všechny ostatní pokyny byly totožné s těmi uvedenými v kap. 1.7.1.

1.7.3 Slide leg exercise

Slide leg exercise (SLE) také Eccentric Single-Leg Sliding Leg Curl, je další možností využití EC hamstringů a představuje pohyb vykonávaný v CKC. Cvičení bylo prováděno na podložce Thera-Band.

Výchozí poloha: Leh na zádech, HKK volně položené dlaněmi na podložce podél těla, kolena v 90° flexi, paty položeny na zemi a kvůli zajištění snadného skluzu podloženy ručníkem (Obrázek 3).

Provedení a pokyny pro probanda: Během cvičení jedna DK nese váhu, je opřená patou o ručník. Druhá DK je držena ve vzduchu, ve flexi v kyčli a semiflexi v koleni. Pánev je na obou stranách zvednuta od podložky. „Vaším cílem je opřít se o patu, začít ji posouvat po ručníku vpřed a provést pomalé kontrolované propnutí kolene. Současně je nezbytné udržet pánev a protilehlou DK ve vzduchu. Po dosažení plného propnutí v koleni vyčkáte 1s, povolíte a následně s pomocí obou DKK se vrátíte zpět do výchozí polohy.

Ostatní informace: Cvik je prováděn nejdříve třikrát pro jednu DK, mezi jednotlivými opakováními je 30s pauza, následuje pauza dvě minuty a vystřídaní DK. Při cvičení je současně měřeno EMG. V případě vyskytnutí jakýchkoliv komplikací dojde k přerušení testování.



Obrázek 3. Výchozí poloha pro SLE (Malliaropoulos et al., 2015)

1.7.4 Isometric hamstring exercise – 45 degrees flexion of the knee

Pro zajištění 45° flexe v kolenou je použit polystyrenový klín, vložený pod bérce probanda (Obrázek 4). Velikost úhlu je vždy ještě změřena plastovým goniometrem.

Výchozí poloha: Leh na břicho, HKK podél těla, hlava v prodloužení páteře opřená o čelo. Bérce podloženy klínem tak, aby nárt přesahoval přes okraj klínu, kolena ve flexi 45°.

Provedení a pokyny pro probanda: Terapeut dlaněmi fixuje oblast hlezna probanda, který provede izometrickou kontrakci hamstringů (5s).

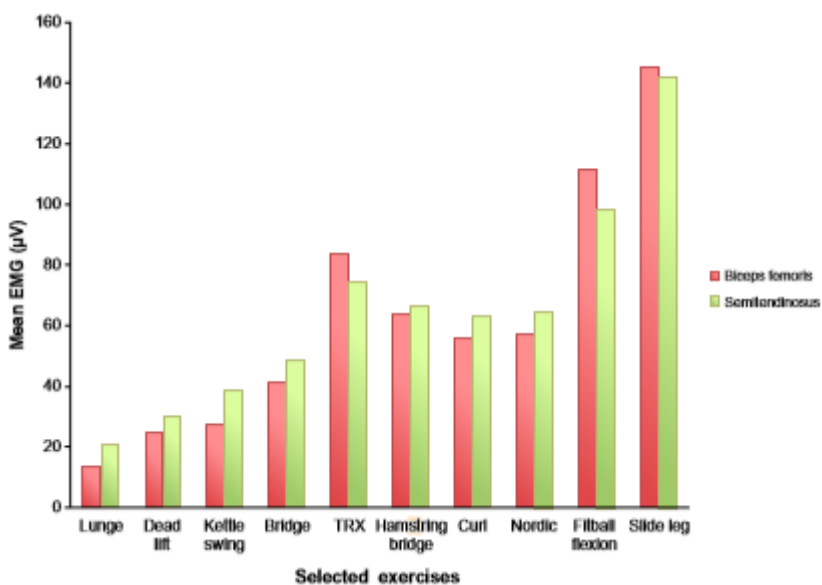
Ostatní informace: Pomocí zvukového signálu je probandovi signalizován začátek a konec kontrakce. Startu předchází ještě jiný zvukový signál o délce 3s a má význam pokynu „připrav se“, po jehož uplynutí je zahájen měřený 5s interval izometrické kontrakce.



Obrázek 4. Výchozí poloha pro isometric hamstring exercise – 45 degrees flexion of the knee

1.8 Rozbor aktivace hamstringů během NHE a SLE

Bližší informace týkající se aktivace hamstringů během NHE, SLE a jiných excentrických cvičení, podává studie autorů Tsaklis et al. (2015). Autoři v této studii hodnotili na skupině 20 profesionálních ženských atletek aktivitu hamstringů. Naměřené hodnoty aktivace hamstringů během každého cviku byly normalizovány pomocí maximální volní kontrakce hamstringů (MVIC). Na základě EMG aktivace hamstringů byly cviky rozděleny na cviky o nízké intenzitě ($< 50\%$ MVIC), střední intenzitě ($\geq 50\% < 80\%$ MVIC) a vysoké intenzitě ($\geq 80\%$ MVIC). Dále byl také sledován podíl aktivace m. semitendinosus (ST) a m. biceps femoris (BF) (Obrázek 5) (Malliaropoulos et al., 2015).



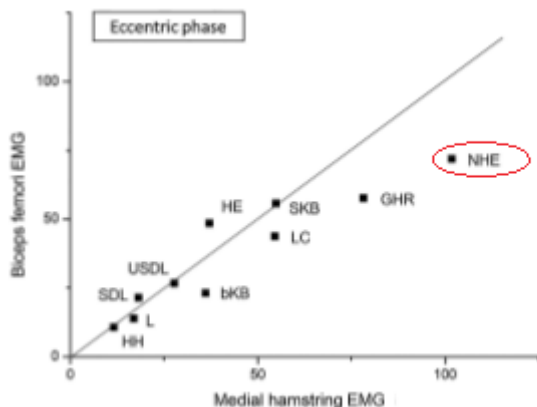
Obrázek 5. Hodnocení aktivity hamstringů pomocí EMG (MVIC normalizace)

(Malliaropoulos et al., 2015).

NHE je řazen do cviků o střední či vysoké intenzitě v závislosti na rozsahu dosaženého pohybu (Malliaropoulos et al., 2015). Rovněž se jedná o cvik, ve kterém se preferenčně aktivují mediální hamstringy (MH) před BF. (Obrázek 6). Vyšší aktivace MH při NHE by se tak zdála jako neoptimální vzhledem k výše popsanému mechanismu vzniku HSI a větší incidenci poranění právě BF (viz kap. 1.4.3). Toto tvrzení lze však zamítnout a to proto, že aktivace BF během NHE je i takto velmi vysoká a výrazně větší, než při jakémkoliv běžně používaném excentrickém cvičení (Bourne et al., 2017).

SLE patří do cviků o vysoké intenzitě a podle studie Tsaklis et al. (2015) zde hamstringy dosahují nejvyšších hodnot peak a mean EMG signálu v porovnání s ostatními excentrickými cvičeními. Je také cvičením, kde je preferenčně aktivován BF (Obrázek 6).

Vysvětlení, čím je způsoben rozdíl v poměru aktivace BF/MH u jednotlivých cviků, ve své studii podávají autoři Bourne et al. (2017). Tvrdí, že je-li EC při cvičení vázána více na pohyb v kyčli (straight-knee bridge, unilateral a bilateral stiff-leg deadlift a hip hinge) je poměr aktivace BF/MH $> 1,0$. Mění-li se v důsledku EC spíše rozsah kolenního kloubu (leg curl, glute-ham raise, bent knee bridge a NHE) je poměr aktivace BF/MH $< 1,0$.

**Obrázek 6. Srovnání aktivity BF a ST během různých excentrických cvičení**

(NHE, glute-ham-raise (GHE), bilateral stiff-leg deadlift (SKB) unilateral straight knee bridge (USDL)) Bourne et al., 2017

1.9 Povrchová elektromyografie

Elektromyografie představuje experimentální vyšetřovací metodu, využívající snímání bioelektrických signálů k získání obrazu o aktivitě svalů a možnosti objektivnějšího hodnocení neuromuskulární činnosti. V rámci sportovní medicíny a kineziologického výzkumu se nejčastěji setkáme s povrchovou elektromyografií. Povrchová elektromyografie (SEMG) představuje poměrně snadnou a neinvazivní možnost objektivizace neurálních mechanismů pohybové kontroly. Umožňuje monitorovat větší množství svalové tkáně a současně měřit i během rozličných pohybových aktivit. Poskytuje nám informace o časové sekvenci náboru jednotlivých svalů, svalové únavě a o velikosti svalové aktivity.

K měření povrchové aktivity svalů se dnes nejčastěji používá tzv. bipolární snímání. Jedná se o dvě elektrody umístěné na kůži, paralelně na průběh svalových vláken, snímající akční potenciály většího množství aktivních motorických jednotek lokalizovaných pod nimi. Získáváme elektrické potenciály, tedy potenciály s různou fází, vzhledem k referenční elektrodě (umístěná v místě minimální svalové aktivity, ideálně elektricky neaktivní část těla např. caput fibulae). Výsledný bipolární signál je ještě následně zesílený v diferenciací zesilovači, představujícím potenciálový rozdíl mezi oběma elektrodami v témže okamžiku (Krobot & Kolářová; 2011).

Získaný surový elektromyografický záznam je ve formě analogového signálu vyslán do vyhodnocovací jednotky, kde dojde ke konverzi signálu na signál digitální. Starší přístroje využívají k přenosu signálu kabely o délce několika metrů, u novějších přístrojů je přenos umožněn telemetricky.

1.9.1 Faktory ovlivňující snímaný signál

Výsledný elektromyografický signál je ovlivněn celou řadou faktorů vnitřních i vnějších. Zatímco vnitřní faktory, vycházející z anatomických, fyziologických a biochemických vlastností během kontrakce nelze ovlivnit, faktory vnější jsou námi dobře modulovatelné.

Faktory vnitřní

- **Svalová aktivita měřeného svalu** je determinována:
 - Typem svalových vláken a jejich poloměrem.

- Počtem aktivních svalových vláken, tedy nábořem akčních potenciálů motorických jednotek a jejich frekvencí pálení tzv. časovou a prostorovou sumací.
- Umístěním aktivních svalových vláken vůči elektrodě, přičemž s rostoucí hloubkou uložení aktivních svalových vláken od snímacího senzoru klesá intenzita konečného signálu.

Současně je nezbytné zohlednit i změnu polohy elektrod na kůži vůči svalu při měření signálu během dynamických činností. Stejně tak i objemové změny svalů při střídání KC a EC.

- ***Aktivita okolních svalů – tzv. cross talk***
 - Cross talk je ovlivnění konečného SEMG signálu prostřednictvím elektrické aktivity okolních svalů. Příkladem může být elektrická aktivita respiračních svalů pracujících kontinuálně. Je-li tato aktivita snímána elektrodami společně s měřeným svalem, je elektromyografický záznam chybně interpretován a dochází k nepřesnosti měření. Cross talk lze minimalizovat optimálním umístěním elektrod.
- ***Elektrická aktivita jiných tkání***
 - Orgány obsahující vzrušivou tkáň jsou během činnosti zdrojem elektrické aktivity, která při SEMG může podávat nepřesné výsledky. Takto lze při měření svalů pletence horní končetiny či trupu na elektromyografickém záznamu vidět srdeční potenciály.
- ***Vlastnosti tkání mezi elektrodami a povrchem svalu***
 - Amplituda měřeného elektromyografického signálu je pojivovou tkání a podkožní tukovou vrstvou snížena. Obě působí jako filtr s dolní propustností. Při praxi je nezbytné zohlednit pacienty s větší tukovou vrstvou, u kterých je konečná amplituda snímaného signálu nižší.
 - Přesnost a kvalitu měření dále ovlivňuje vedle dobrého kontaktu elektrod i odpor kůže. Z tohoto důvodu je nutné kůži očistit a osušit, tím zabezpečíme optimální kontakt a minimalizujeme kožní odpor.
- ***Další faktory – pH krve a intersticiálních tekutin či schopnost svalu odstraňovat metabolity během kontrakce.***

Faktory vnější

- **Lokalizace elektrod**

- Poloha elektrod představuje nejdůležitější faktor pro kvalitní měření, na které závisí i možnost přesně porovnat naměřené hodnoty mezi probandy.
- Elektrody orientujeme paralelně s průběhem svalových vláken, preferovanou oblastí umístění senzorů je střed svalového břicha, kde dosahuje snímání SEMG největší amplitudy (Krobot & Kolářová; 2011).

- **Velikost a vzdálenost elektrod**

- Pro minimalizaci cross talk je doporučena co nejmenší vzdálenost mezi elektrodami.
- Během opakovaného měření či měření skupiny probandů je nezbytné pro možnost porovnání naměřených hodnot dodržet konstantní vzdálenost a stejnou lokalizaci elektrod.
- Pro možnost standardizace a porovnání SEMG měření mezi studii byla vydána Společností pro neinvazivní vyšetření svalů pomocí povrchové elektromyografie (SENIAM) následná doporučení:
 - Preferenční vzdálenost mezi elektrodami by neměla přesáhnout 20 mm.
 - Ag/AgCl kulaté gelové elektrody s poloměrem 10 mm.
 - Umístění senzorů na svalové břicho nebo přímo na motorický bod.
 - Referenční elektroda by měla být umístěna vždy na místě s minimální svalovou aktivitou, nejlépe na elektricky neaktivní části těla (processus spinosus C7/L5, caput fibulae).
 - Vždy je nezbytné uvést výrobce, materiál, tvar a velikost používaných elektrod i jejich používanou lokalizaci (Merletti & Hermens, 2000).

- **Kontakt mezi elektrodami**

- Místo aplikace elektrod je nutné nejdříve očistit, např. alkoholem či abrazivní pastou, snížit tak kožní odpor a zajistit tak optimální kontakt mezi elektrodami a kůží.

- **Externí šum**

- Vzniká narušením elektromagnetického pole v okolí snímaného objektu.

- Nejčastěji je způsoben blízkými externími přístroji či pohybovými artefakty, vznikajícími při měření dynamických aktivit
- Externí šum lze eliminovat pomocí tzv. diferenciálních předzesilovačů (Krobot & Kolářová, 2011).

2 CÍLE A HYPOTÉZY

Cílem diplomové práce je porovnání průměrných a maximálních hodnot amplitudy EMG signálu hodnocených svalů u každého cviku. U cviků nordic hamstring exercise a single leg slide je ještě úkolem rozhodnout, zda je statisticky významný rozdíl v poměru EMG aktivace m. biceps femoris a m. semitendinosus. Dalším cílem je pokus o stanovení timingu hamstringů během nordic hamstring exercise.

2.1 Hypotézy

Na základě studia literatury, výše uvedených faktů a našich úvah očekáváme statisticky významné rozdíly v poměru aktivace m. biceps femoris a mediální skupiny hamstringů během různých excentrických cvičení. Při NHE očekáváme vyšší EMG aktivitu u m. semitendinosus ve srovnání s m. biceps femoris. U SLE očekáváme vyšší EMG aktivitu u m. biceps femoris v porovnání s m. semitendinosus.

Hypotéza č. 1

H01: Při NHE není statisticky významný rozdíl v poměru EMG aktivace m. biceps femoris a m. semitendinosus.

HA1: Při NHE je statisticky významný rozdíl v poměru EMG aktivace m. biceps femoris a m. semitendinosus.

Hypotéza č. 2

H02: Při SLE není statisticky významný rozdíl v poměru EMG aktivace m. biceps femoris a m. semitendinosus.

HA2: Při SLE je statisticky významný rozdíl v poměru EMG aktivace m. biceps femoris a m. semitendinosus.

3 METODIKA

Tato práce je experimentální vědeckou studií. Experimentálním faktorem je izometrické a excentrické cvičení s vlastní vahou, prováděné za současného měření povrchového EMG.

3.1 Probandi

Celkem bylo vyšetřeno 20 fyzicky aktivních, rekreačně sportujících mužů, studentů vysokých škol ve věku 20-27 let. Průměrný věk byl $22,47 \pm 3,5$, váha $77,29 \pm 15$ kg a výška se pohybuje v rozsahu $180,85 \pm 17,5$ cm. Pravou dolní končetinu jako odrazovou v anamnestickém dotazníku uvedlo 11 probandů, levou 9. Podmínky pro účast na studii byly následující: muž ve věku 18–30 let, bez aktuálních zdravotních problémů, se zdravými neoperovanými koleny. Studie se nemohli účastnit ti, kteří v minulosti podstoupili artroskopii či jinou operaci kolenního kloubu nebo v posledních 6 měsících měli úraz hamstringů. Probandům bylo doporučeno, aby v rozsahu dvou dnů před měřením neprováděli žádné těžké cvičení zatěžující svaly dolních končetin a přišli odpočatí.

Součástí studie bylo i vstupní vyšetření (viz Příloha 3), které absolvoval každý proband před začátkem měření. Mimo základních anamnestických údajů byl proveden i kineziologický rozbor, obsahující podrobné vyšetření pánve, stoje a chůze (Haladová & Nechvátalová, 2003). Vyšetření rovněž obsahuje i zhodnocení zkrácení vybraných svalů (Janda, 2004). Pomocí extenčního testu, testu extenze v kyčlích, bráničního testu, testu hlubokého dřepu a testu polohy na čtyřech bylo také provedeno vyšetření posturální stabilizace a posturální reaktivity (Kolář, 2009). Součástí bylo i vyšetření síly a koordinace extenzorů kyčle a kolene pomocí single leg sit to stand testu (Wongsaya & Chamnongkich, 2012).

Vyšetření i samotné měření pomocí EMG bylo prováděno ve spodním prádle. Cílem vyšetření bylo vyloučit přítomnost jakékoli další poruchy, která by mohla ovlivnit výsledky testování. Se souhlasem probanda (viz Příloha 5) byl také pořízen videozáznam vybraných prvků vyšetření. Měření i vyšetření každého jedince bylo prováděno během jednoho setkání.

Všechny osoby, které se účastnili testování, byly předem seznámeny s průběhem studie a se svojí účastí souhlasili.

3.2 Použité metody

K měření byl použit elektromyografický přístroj Noraxon MyoSystem 1400A a 16 kanálový aparát. Celkově bylo měřeno 14 svalů, vždy 6 na každé dolní končetině a 2 na zádech. K přístroji byl připojen ještě elektrický goniometr. Povrchová svalová aktivita byla snímána bipolárně pomocí dvou elektrod umístěných paralelně s průběhem svalových vláken. Tyto elektrody snímají v daném okamžiku různé elektrické potenciály vzhledem k referenční elektrodě umístěné na caput fibulae. Využity byly samolepící pěnové elektrody Kendall (H92SG) na jedno použití o velikosti 48 x 34 mm, s Ag/AgCl gelovým kulatým senzorem o průměru 18 mm. Elektrody byly umístěny na svalové bříško a vždy jedna z páru byla upravena na velikost 48 x 26 mm. Důvodem této úpravy bylo zachování 25 mm vzdálenosti mezi středy snímacích senzorů. Přesná lokalizace se řídila doporučením a anatomicky determinovanou lokalizací jednotlivých elektrod, která je obsažena v manuálu k EMG od Konrada (2006) (viz Příloha 6). Před aplikací byla kůže řádně očištěna alkoholem, aby se snížil kožní odpor a zlepšil se kontakt mezi elektrodami a kůží. Elektrody byly připojeny ke kabelům a spojeny s aparaturami (dvě, každá pro 8 kanálů). Elektrický goniometr byl připevněn pomocí lepicí pásky, vždy na pravý kolenní kloub. Aparatury byly pomocí pružného obinadla připevněny k pasu probanda tak, aby během měření nedošlo k odtržení elektrod či poškození kabelů.

Naměřená data byla dále zpracována a vyhodnocena pomocí programu MRXP Master 1.08.27.

3.3 Postup měření

Před začátkem měření proběhlo u každého probanda krátké rozcvičení formou dynamického strečinku. Poté byly na základě anatomicky definovaných pozic aplikovány na předem očištěnou a připravenou kůži jednotlivé elektrody a připojeny k aparaturám. Svaly měřené pomocí EMG jsou uvedeny v Tabulce 2. Čísla svalů se shodují s čísly kanálu na EMG záznamu. K aparatuře označené jako "A" byly připojeny kanály 1-8, aparatura "B" byla spojena s kanály 9-16. Před zahájením měření byla nejprve změřena klidová EMG aktivita u ležícího probanda. Pro kontrolu správné lokalizace elektrod a funkčnosti kanálů a aparatur byla provedena flexe v kolenním kloubu proti odporu. Pořadí cviků bylo voleno náhodně a přechody mezi jednotlivými cviky byly vždy odděleny krátkou pauzou. Každý cvik byl opakován třikrát. Po naměření všech potřebných hodnot bylo měření ukončeno a proband odpojen od EMG přístroje.

Následovala dezinfekce lehátka, karimatky a všech částí EMG přístroje, které byly v kontaktu s pacientem.

Číslo kanálu	Strana	Sval
1	RT	m. gastrocnemius lateralis
2	RT	m. gastrocnemius medialis
3	RT	m. biceps femoris
4	RT	m. semitendinosus
5	RT	m. gluteus maximus
6	RT	m. rectus femoris
7	RT	2D goniometr (osa X)
8	RT	2D goniometr (osa Y)
9	LT	m. gastrocnemius lateralis
10	LT	m. gastrocnemius medialis
11	LT	m. biceps femoris
12	LT	m. semitendinosus
13	LT	m. gluteus maximus
14	LT	m. rectus femoris
15	LT	m. erector spinae
16	LT	mm. multifidi
RT= vpravo, LT = vlevo		

Tabulka 2. Svaly měřené pomocí SEMG

3.4 Zpracování signálu

Data naměřená pomocí přístroje Noraxon MyoSystem 1400A byla zpracována v programu MRXP Master 1. 08. 27. Získaný surový signál se skládá z náhodně uspořádaných amplitud a podává nám cenné informace o aktivitě jednotlivých svalů. Chceme-li však se signálem dále pracovat a získaná data analyzovat, je nutné signál nejprve zpracovat. Pro potřeby této práce byla data zpracována s využitím následujících úprav: rektifikace (usměrnění), smoothing (filtrace) a root mean squar (RMS) 100 Hz, tedy druhá odmocnina střední hodnoty kvadrátu napětí. U některých pacientů došlo při měření elektrického signálu z elektrod umístěných na trupu a hýždích ke vzniku artefaktů, které byly zapříčiněny aktivitou srdce. K odfiltrování tohoto šumu byla použita ECG redukce.

Z naměřeného a upraveného EMG signálu byly pro potřebu diplomové práce vybrány pouze určité části, které byly následně analyzovány. Pro každý cvik byly stanoveny vždy 3 periody. Začátek byl určen ručně podle elektrického goniometru a aktivity hamstringů znázorňujících počátek svalové činnosti probanda. U izometrické kontrakce hamstringů při 45° flexi v kolenním kloubu byl konec periody stanoven vždy

po 3s od jejího začátku. U ostatních cviků se konec periody stanovoval opět ručně podle elektrického goniometru a aktivity hamstringů (viz Příloha 7).

3.5 Statistické zpracování dat

Pro potřeby statistického zpracování dat byly použity programy Excel 2013 (Microsoft, USA) a STATISTICA 12 (Statsoft Software Group, USA). Ověření normality rozložení a spočítání popisné statistiky bylo provedeno vizuálně a pomocí Shapiro-Wilkova testu. Pro stranové porovnání svalů levé a pravé dolní končetiny byl použit párový t-test nebo Wilcoxonův test při nenormálním rozložení. Srovnání jednotlivých svalů bylo provedeno pomocí analýzy rozptylu (ANOVA) pro opakovaná měření s Fisherovým post-hoc testem. Hladina statistické významnosti byla stanovena $p = 0,05$.

3.6 Sběr dat

Vstupní vyšetření i měření probandů pomocí povrchového EMG se uskutečnilo na oddělení tělovýchovného lékařství FN Motol v termínu od 18. 12. 2019 do 13. 3. 2020 a dále pokračovalo ještě ve dnech 22. 7. 2020 a 23. 7. 2020, kdy bylo provedeno měření se zbývajících probandy. Měření probíhalo v odpoledních hodinách a v jeden den byli změřeni maximálně 3 probandi. Průměrná délka vyšetření a měření byla dohromady 1 hodina a deset minut.

4 VÝSLEDKY

4.1 Porovnání průměrných a maximálních hodnot amplitudy

EMG signálu u jednotlivých cviků

Cílem diplomové práce je porovnání průměrných a maximálních hodnot amplitudy EMG signálu hodnocených svalů u každého cviku. Současně také zjistit, je-li přítomen stranový rozdíl v aktivaci některého svalu. U cviků nordic hamstring exercise a single leg slide je ještě úkolem rozhodnout, zda je statisticky významný rozdíl v poměru EMG aktivace m. biceps femoris a m. semitendinosus. Podrobněji budou získané výsledky a jejich vliv na riziko vzniku HSI rozebrány v diskuzi.

4.1.1 Isometric hamstring exercise – 45 degrees flexion of the knee (mean)

Sval	Průměr	Medián	Variační rozpětí	Quartile	Směrodatná odchylka
R LAT. GASTRO	63,72	60,96	171,19	48,05	45,18
R MED. GASTRO	74,61	60,20	202,64	82,15	56,25
R BICEPS FEM.	175,01	166,13	371,49	121,41	90,89
R SEMITEND.	208,36	193,32	469,12	209,08	141,77
R GLUT. MAX.	12,19	9,11	23,68	10,49	6,54
R RECTUS FEM.	13,06	11,17	26,40	8,56	7,76
L LAT. GASTRO	58,12	56,49	145,71	52,92	37,12
L MED. GASTRO	79,00	78,85	192,80	79,07	55,76
L BICEPS FEM.	198,47	202,24	254,23	86,25	65,74
L SEMITEND.	231,21	224,61	377,18	127,21	106,19
L GLUT. MAX.	10,89	9,75	18,94	4,16	4,28
L RECTUS FEM.	17,06	11,12	48,01	12,94	11,84
LUMBAR ES	82,81	79,29	157,92	105,94	52,54
MULTIFIDII	97,96	95,13	172,63	52,35	41,33

R = pravá dolní končetina
L = levá dolní končetina

Tabulka 3. Isometric hamstring exercise – 45 degrees flexion of the knee (mean)

4.1.2 Nordic hamstring exercises

Na základě získaných průměrných a maximálních hodnot amplitudy EMG signálu u cvičení SLE jsme chtěli potvrdit nebo vyvrátit hypotézu:

HA1: Při NHE je statisticky významný rozdíl v poměru EMG aktivace m. biceps femoris a m. semitendinosus.

Na hladině významnosti $\alpha = 5\%$ se na pravé straně významně liší průměrné hodnoty amplitudy EMG aktivace m. biceps femoris a m. semitendinosus. Na levé straně se neliší. Maximální hodnoty amplitudy EMG aktivace m. biceps femoris a m. semitendinosus se ani na jedné straně neliší (viz Příloha 8).

Platí tedy hypotéza:

H01: Při NHE není statisticky významný rozdíl v poměru EMG aktivace m. biceps femoris a m. semitendinosus.

Sval	Průměr	Medián	Variační rozpětí	Quartile	Směrodatná odchylka
R LAT. GASTRO	51,50	44,95	106,77	51,59	32,90
R MED. GASTRO	43,52	36,37	124,67	34,89	29,11
R BICEPS FEM.	115,23	111,52	185,10	82,22	54,05
R SEMITEND.	160,26	143,78	330,58	154,87	103,94
R GLUT. MAX.	21,31	19,85	38,61	15,55	9,82
R RECTUS FEM.	9,61	9,15	11,53	3,63	3,00
L LAT. GASTRO	44,62	40,97	68,88	35,82	21,89
L MED. GASTRO	47,96	47,99	123,22	37,73	28,88
L BICEPS FEM.	132,80	145,80	136,65	81,55	45,25
L SEMITEND.	156,28	127,14	285,62	134,34	83,44
L GLUT. MAX.	20,94	18,06	49,39	10,26	11,66
L RECTUS FEM.	11,13	10,06	14,59	3,77	3,87
LUMBAR ES	66,57	56,85	104,16	38,70	31,14
MULTIFIDII	79,27	66,39	155,84	40,28	39,98

Tabulka 4. Nordic hamstring exercises (mean)

Sval	Průměr	Medián	Variační rozpětí	Quartile	Směrodatná odchylka
R LAT. GASTRO	132,70	109,68	252,70	128,89	78,81
R MED. GASTRO	108,37	97,12	290,52	71,76	66,29
R BICEPS FEM.	230,75	218,16	407,52	157,67	111,72
R SEMITEND.	295,64	276,00	619,56	272,26	199,12
R GLUT. MAX.	41,25	35,04	95,72	31,43	24,57
R RECTUS FEM.	28,07	21,90	51,31	18,38	16,58
L LAT. GASTRO	112,07	106,11	274,94	48,35	61,15
L MED. GASTRO	113,04	106,05	227,45	92,90	66,03
L BICEPS FEM.	255,48	265,00	319,14	140,90	90,45
L SEMITEND.	292,90	232,49	559,94	270,33	164,54
L GLUT. MAX.	40,41	27,91	136,82	29,96	31,32
L RECTUS FEM.	22,87	24,25	22,43	11,14	7,06
LUMBAR ES	132,48	123,06	238,99	71,71	69,37
MULTIFIDII	154,46	122,69	282,69	63,11	85,51

Tabulka 5. Nordic hamstring exercises (peak)

4.1.3 Nordic hamstring exercises – plyometric variant

Sval	Průměr	Medián	Variační rozpětí	Quartile	Směrodatná odchylka
R LAT. GASTRO	52,36	45,54	81,74	49,08	26,97
R MED. GASTRO	47,38	42,73	118,43	30,81	28,59
R BICEPS FEM.	127,76	121,50	225,25	81,26	58,92
R SEMITEND.	165,83	156,81	319,50	178,48	105,37
R GLUT. MAX.	21,44	21,82	28,93	10,38	7,93
R RECTUS FEM.	11,25	10,08	23,14	5,02	5,71
L LAT. GASTRO	55,34	50,27	109,02	35,78	30,22
L MED. GASTRO	53,53	54,34	130,93	37,12	30,98
L BICEPS FEM.	140,71	138,93	202,11	70,78	47,93
L SEMITEND.	160,54	140,89	299,24	123,55	83,65
L GLUT. MAX.	20,82	17,66	41,89	11,41	10,68
L RECTUS FEM.	11,65	10,51	14,47	6,36	3,85
LUMBAR ES	79,22	69,88	146,70	52,40	36,80
MULTIFIDII	82,18	70,39	153,66	29,16	40,15

Tabulka 6. Nordic hamstring exercises - plyometric variant (mean)

Sval	Průměr	Medián	Variační rozpětí	Quartile	Směrodatná odchylka
R LAT. GASTRO	123,14	113,95	222,08	113,32	67,35
R MED. GASTRO	105,33	89,32	246,48	87,12	66,19
R BICEPS FEM.	234,60	209,96	427,87	138,36	110,61
R SEMITEND.	283,09	261,00	669,95	277,14	188,46
R GLUT. MAX.	41,26	35,66	77,38	20,50	21,13
R RECTUS FEM.	28,15	19,97	100,75	11,27	25,63
L LAT. GASTRO	117,25	103,43	241,83	78,61	61,13
L MED. GASTRO	108,50	93,36	285,52	92,42	68,05
L BICEPS FEM.	263,20	260,74	365,41	133,57	96,62
L SEMITEND.	275,07	235,85	501,67	238,02	151,00
L GLUT. MAX.	37,20	27,63	95,87	19,20	24,51
L RECTUS FEM.	25,35	25,12	57,02	14,93	12,86
LUMBAR ES	157,76	130,53	574,71	111,97	127,47
MULTIFIDII	141,00	125,30	250,54	57,81	71,43

Tabulka 7. Nordic hamstring exercises - plyometric variant (peak)

4.1.4 Single leg slide

Na základě získaných průměrných a maximálních hodnot amplitudy EMG signálu u cvičení SLE jsme chtěli potvrdit nebo vyvrátit hypotézu:

HA2: Při SLE je statisticky významný rozdíl v poměru EMG aktivace m. biceps femoris a m. semitendinosus.

Na hladině významnosti $\alpha = 5\%$ nelze říct, že by se významně lišily průměrné a maximální hodnoty amplitudy EMG aktivace m. biceps femoris a m. semitendinosus při SLE (viz Příloha 9).

Platí tedy hypotéza:

H02: Při SLE není statisticky významný rozdíl v poměru EMG aktivace m. biceps femoris a m. semitendinosus.

Sval	Průměr	Medián	Variační rozpětí	Quartile	Směrodatná odchylka
R LAT. GASTRO	51,88	44,39	132,61	29,54	28,47
R MED. GASTRO	44,27	42,29	84,78	32,36	23,59
R BICEPS FEM.	142,01	135,37	317,73	63,40	74,38
R SEMITEND.	133,90	135,75	239,43	77,88	72,00
R GLUT. MAX.	59,92	53,16	189,77	49,37	42,99
R RECTUS FEM.	8,61	8,52	12,64	3,58	3,00
R LUMBAR ES	75,03	78,05	129,87	36,25	35,06
R MULTIFIDII	69,04	63,05	64,84	34,01	19,51
L LAT. GASTRO	54,00	49,05	104,10	20,40	23,68
L MED. GASTRO	45,72	34,90	107,91	27,90	32,05
L BICEPS FEM.	154,76	141,50	244,20	68,00	58,69
L SEMITEND.	154,46	165,00	262,70	62,00	64,00
L GLUT. MAX.	50,29	40,45	87,29	44,10	25,98
L RECTUS FEM.	8,37	8,37	5,71	2,42	1,68
L LUMBAR ES	55,74	61,90	80,79	26,60	23,48
L MULTIFIDII	93,09	90,75	132,90	45,00	32,60

Tabulka 8. Single leg slide (mean)

Sval	Průměr	Medián	Variační rozpětí	Quartile	Směrodatná odchylka
R LAT. GASTRO	104,54	97,02	168,30	49,06	42,69
R MED. GASTRO	83,95	80,75	172,69	56,95	40,66
R BICEPS FEM.	258,18	212,53	714,02	130,77	169,55
R SEMITEND.	220,57	230,57	398,09	125,64	116,42
R GLUT. MAX.	139,77	92,62	930,60	78,55	196,52
R RECTUS FEM.	17,53	12,65	57,60	12,25	13,52
R LUMBAR ES	118,09	115,07	208,19	53,07	55,21
R MULTIFIDII	105,47	94,91	95,83	43,55	29,49
L LAT. GASTRO	95,36	91,55	176,00	33,50	38,76
L MED. GASTRO	83,16	71,50	204,50	30,95	54,41
L BICEPS FEM.	246,90	243,50	382,00	112,00	91,84
L SEMITEND.	238,58	232,50	375,80	101,00	99,40
L GLUT. MAX.	84,61	72,75	158,60	65,65	43,40
L RECTUS FEM.	13,74	11,75	24,74	4,46	6,21
L LUMBAR ES	77,76	80,60	104,80	27,20	29,68
L MULTIFIDII	130,20	115,00	236,00	60,15	54,82

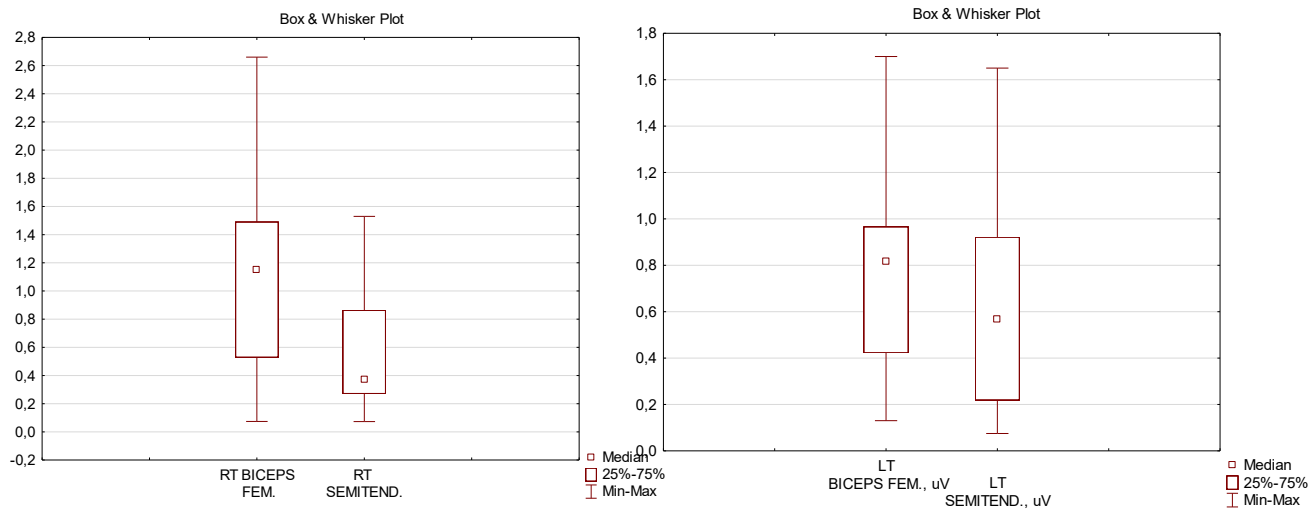
Tabulka 9. Single leg slide (peak)**4.2 Stanovení timingu hamstringů při nordic hamstring exercises**

Tabulka č. 10 obsahuje aktivační časy hamstringů u jednotlivých probandů. U jednoho probanda nebylo možné timing stanovit a to z důvodů nemožného stanovení přesné periody.

Proband č.	Parameter Onset time (s)			
	LT BICEPS FEM.	RT BICEPS FEM.	LT SEMITEND.	RT SEMITEND.
1	0,45	0,53	0,22	0,54
2	1,70	1,74	1,65	1,53
3	0,88	0,27	0,14	0,27
4	0,33	0,28	0,08	0,29
5	0,82	1,15	0,92	1,36
6	0,16	0,07	0,62	0,14
7	1,38	1,82	1,32	1,49
8	0,66	0,34	0,58	0,07
9	0,97	1,67	0,57	0,75
10	0,75	1,09	0,19	0,20
11	0,96	0,88	1,23	0,28
12	0,56	0,87	0,53	1,10
13	0,72	0,74	0,50	0,47
14	0,28	0,95	0,28	0,25
15	0,82	1,29	0,48	0,27
16	0,13	1,23	0,22	0,66
17	1,14	1,32	0,92	0,86
18	NELZE			
19	1,47	2,66	1,26	0,29
20	0,27	1,17	0,20	0,21

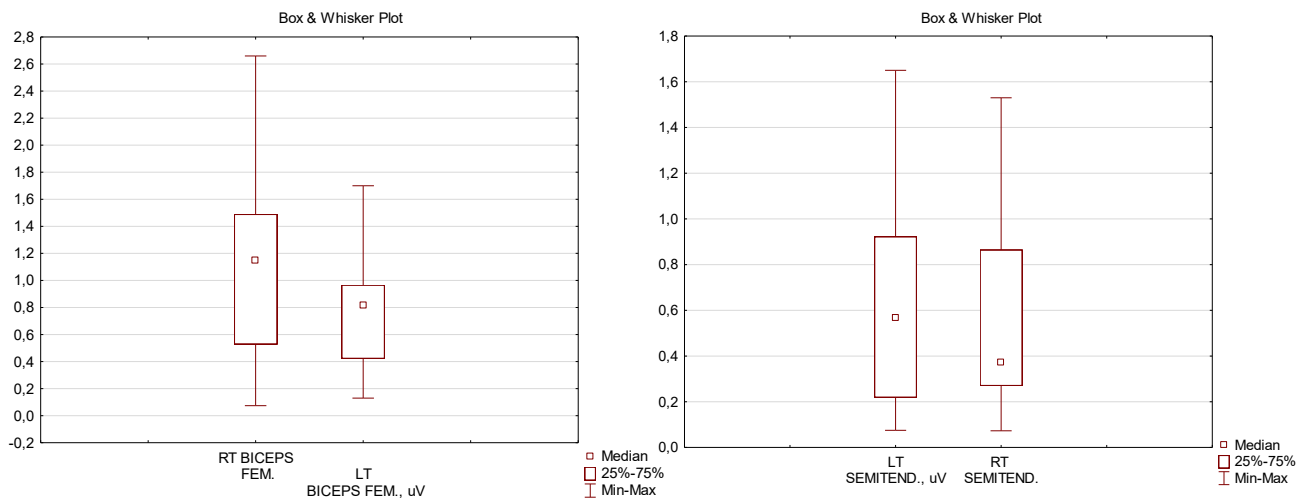
Tabulka 10. Timing hamstringů u jednotlivých probandů**4.2.1 Srovnání rychlosti aktivace *m. biceps femoris* a *m. semitendinosus***

Na základě boxplotových grafů (Graf 1 a 2) a v histogramů (viz Příloha 10), popisujících rozdíly v aktivačních časech lze říci, že na pravé i levé straně se dříve aktivuje *m. semitendinosus* než *m. biceps femoris*.



Graf 1 a 2. Srovnání rychlosti aktivace m. biceps femoris a m. semitendinosus

4.2.2 *Stranový rozdíl v rychlosti aktivace m. biceps femoris a m. semitendinosus*



Graf 3 a 4. Stranový rozdíl v rychlosti aktivace m. biceps femoris a m. semitendinosus

5 DISKUZE

5.1 Diskuze k teoretické části

Hamstring strain injury představuje velmi časté sportovní zranění, které i přes správně vedenou komplexní rehabilitační péči má velký sklon k recidivám. Důvodů, proč se ani v profesionálních sportovních týmech nedaří vzniku HSI a jeho recidivám předcházet, je několik. Nejčastěji je na vině některý z rizikových faktorů a jeho nedostatečné zohlednění v tréninkovém plánu. Problémem je zejména diagnostika rizika vzniku HSI u zdravého asymptomatického sportujícího jedince. V oblasti diagnostiky a primární a sekundární prevence stále postrádáme vhodný klinický test či metodu, pomocí které by šlo získat měřitelné parametry přímo související s rizikem vzniku HSI. Stále nemáme k dispozici vyšetření, testující tu vlastnost hamstringů, která by dobře monitorovala jejich funkčnost.

Využití excentrické kontrakce hamstringů k urychlení rekonvalescence hráčů po HSI je dobře známé a má i celou řadu dalších benefitů (Shield & Bourne, 2018; Siddle et al., 2018). Známe je také pozitivní efekt excentrického cvičení (NHE) na snížení rizika vzniku a recidivy HSI během sezóny. Tato excentrická cvičení jsou zařazována do předsezónní přípravy hráčů fotbalu (Petersen et al., 2011). Všechny tyto studie pracují s NHE, které je nejčastěji používanou formou excentrického cvičení. Podle studie (Malliaropoulos et al., 2015) je NHE, na základě dosažených průměrných a maximálních hodnot amplitudy EMG řazen mezi cviky o střední až vysoké intenzitě, během kterého se o trochu více zapojují mediální než laterální hamstringy. Jedná o cvik koordinačně nenáročný, velmi dobře hodnotící excentrickou sílu hamstringů, u kterého lze u každého probanda snadno zajistit stejnou výchozí polohu. Z těchto důvodů bylo NHE použito ke stanovení timingu hamstringů. Single leg slide je cvik vysoké intenzity, při kterém se naopak více zapojují laterální hamstringy. I přes to, že dostali všichni probandi stejné instrukce k provedení cviku, se jednotlivá provedení cviku značně lišila. Timing hamstringů proto u tohoto cvičení hodnocen nebyl.

Cíl práce je postaven na předpokladu, že pokud by šlo pomocí SEMG stanovit optimální timing hamstringů při excentrickém cvičení, bylo by možné toto cvičení použít k testování funkčnosti hamstringů u asymptomatických jedinců. Výsledkem by tak bylo stanovení odchylek od optimálního timingu m. biceps femoris a m. semitendinosus, které by vypovídaly o zvýšeném riziku vzniku HSI u daného jedince. Pro určení timingu

hamstringů při excentrické kontrakci jsem vybral NHE. V literatuře jsem však nenašel žádné informace týkající se timingu hamstringů při tomto ani při jiném excentrickém cvičení. V této oblasti je proto tato diplomová práce ojedinělá, a i proto lze jen těžko získaná data srovnat s literaturou.

5.2 Diskuze k praktické části

V rámci našeho měření se nepodařilo prokázat, že se při NHE statisticky liší poměr EMG aktivace m. biceps femoris a m. semitendinosus. Stejně tak se nepodařilo prokázat rozdíl v EMG aktivaci m. biceps femoris a m. semitendinosus při SLE. Platí tedy H01 a H02. Obdobné výsledky publikovali ve své studii i autoři Monajati, Larumbe-Zabala, Goss-Sampson & Naclerio (2017), kteří udávají stejný poměr aktivace BF a ST při NHE. V rozporu jsou námi získané výsledky se studií Malliaropoulos et al., (2015) a Shield & Bourne (2018). Obě tyto studie se shodují, že při NHE dosahuje ST statisticky vyšších průměrných i maximálních hodnot amplitudy EMG signálu. Naše výsledky ukázaly na pravé straně prokazatelně vyšší průměrné hodnoty EMG signálu, na levé však nikoliv. Jedním z důvodů, proč se nám tyto výsledky nepodařilo prokázat i na levé straně, je pravděpodobně přítomnost dvou probandů v testované skupině s velmi nízkými hodnotami aktivace ST. Při vyřazení těchto dvou probandů z hodnocené skupiny dostáváme i na levé straně u ST hodnoty amplitudy EMG signálu s tendencí ke statistické významnosti ($p = 0,078$).

U SLE se obě studie (Malliaropoulos et al., 2015; Shield & Bourne, 2018) shodují, že je preferenčně aktivován BF. Námi získané výsledky toto neprokázaly. Důvodem, proč se naše výsledky liší, je pravděpodobně variabilita provedení tohoto cviku napříč studii i mezi jednotlivými probandy. I přes stejné pokyny k provedení cviku dochází velmi často k drobným odchylkám v provedení pohybu. Mezi nejčastější patří: postavení kořenových kloubů DK během celého pohybu, pomoc horních končetin při stabilizaci trupu, různá míra aktivace svalů hlubokého stabilizačního systému páteře a různá rychlost a plynulost cvičení.

Získaný timing hamstringů při NHE nebylo možné porovnat s žádnými literárními zdroji. Existuje sice řada studií, které se věnují diagnostickému užití NHE, žádná z nich však k tomu nevyužívá stanovení timingu hamstringů. Proto aktivační časy BF a ST uvedené ve výsledcích jsou do jisté míry jedinečné a lze je jen velmi obtížně srovnat s literaturou. Ze stejného důvodu proto nelze pomocí stanovení timingu hamstringů

během nordic hamstring exercises zhodnotit funkčnost hamstringů a odhalit případné riziko vzniku HSI u běžně sportujícího jedince. Máme sice naměřené aktivační časy hamstringů, ale nemáme je s čím porovnat, protože jsme ve studii nesledovali úrazovost probandů v testované skupině.

Při stanovování timingu jsme se zaměřili jak na pořadí aktivace BF a ST, tak i na stranový rozdíl v aktivaci hamstringů. Z výsledků vyplývá, že se na pravé i levé straně dříve aktivuje ST než BF. Dále jsme se zaměřili na stranový rozdíl v rychlosti aktivace BF a ST. Zatímco aktivační časy ST byly na obou stranách stejné, BF se prokazatelně rychleji aktivoval na levé straně. Na základě těchto výsledků lze předpokládat, že probandi s největším stranovým rozdílem v aktivačních časech BF, budou z měřené skupiny v největším riziku vzniku poranění. Tento předpoklad se opírá zejména o asymetrii jako možný rizikový faktor (Heiderscheit et al., 2010; Panayi, 2010), na základě které dochází u probanda k upevnění stranových dysbalancí, fixované změně postavení pánve a stranovém přetížení mediálních hamstringů. Je nezbytné si uvědomit, že aktivační časy hamstringů představují pouze jeden z mnoha možných rizikových faktorů, který díky komplikovanosti celé problematiky HSI nemusí mít žádný vliv. Na druhou stranu lze stranový rozdíl v aktivaci BF a ST považovat za nový rizikový faktor, kterým lze snadno zjistit pořadí a rozdíl v aktivaci hamstringů.

Zajímavý pohled na problematiku aktivace hamstringů nabízí studie Sung & Lee, (2009). Autoři v ní udávají pomalejší čas aktivace hamstringů při chůzi ze schodů u žen ve srovnání s muži, jako rizikový faktor pro vznik úrazu kolene. Obdobně by se i pomalejší aktivační časy BF a ST daly považovat za možný rizikový faktor pro vznik HSI.

5.3 Limity

I přes snadnou proveditelnost, neinvazivnost a nízkou cenu vyšetření aktivity a timingu svalů pomocí SEMG je nezbytné uvést i limity měření, které mohly výsledky praktické části ovlivnit.

- Je zcela zásadní při vyšetření aplikovat měřící elektrody vždy na střed svalového břicha, kde dosahuje snímání SEMG nejvyšší amplitudy. Stejně tak se vyvarovat snímání aktivity okolních svalů tzv. cross talk.

- Důležité je rovněž zajistit pomocí pečlivého očištění a odmaštění kůže dobrý kontakt elektrod s kůží. U probandů, kteří se hodně potí, je nutné pravidelně kontrolovat aplikované elektrody, případně je během měření znovu nalepit.
- Při měření je také nutné zohlednit probandy s větší tukovou vrstvou. Tuk zde působí jako filtr s dolní propustností a snižuje konečnou amplitudu snímaného signálu.
- Dalším limitem je také způsob provedení jednotlivých cviků, který se i přes předem pevně stanovené stejné pokyny pro všechny probandy, může lišit.
- Limitujícím faktorem měření je i samotné zpracování získaného surového EMG signálu. Při excentrickém cvičení nebylo možné zajistit u všech probandů vždy stejně dlouhý čas provedení každého cviku. Bylo proto nezbytné periody EMG signálu stanovovat pro vyhodnocení ručně s pomocí dat z elektrického goniometru.

6 ZÁVĚR

V teoretické části diplomové práce jsou shrnuty poznatky týkající se využití a benefitů excentrické kontrakce v oblasti sportovní medicíny. Je zde rozvinut mechanismus vzniku, možné příčiny vzniku hamstring strain injury a jak tomuto zranění předcházet pomocí excentrického cvičení hamstringů. V experimentální části bylo pomocí SEMG testováno 20 asymptomatických, mladých mužů, kteří prováděli sérii excentrických cvičení (NHE, NHE plyo a SLE). Cílem bylo zjistit, zda lze pomocí stanovení timingu hamstringů během nordic hamstring exercises zhodnotit jejich funkčnost a odhalit případné riziko vzniku úrazu u běžně sportujícího jedince. Dále jsme zjišťovali hodnoty amplitudy EMG aktivace BF a ST při NHE a SLE. Výsledky ukázaly, že při NHE a SLE není statisticky významný rozdíl v poměru EMG aktivace m. biceps femoris a m. semitendinosus. Tyto výsledky společně se stanoveným timingem hamstringů jsme v diskuzi porovnali s výsledky zahraničních studií.

7 REFERENČNÍ SEZNAM

- ALVAREZ, Francisco J., Ana BENITO-GONZALEZ a Valerie C. SIEMBAB. Principles of interneuron development learned from Renshaw cells and the motoneuron recurrent inhibitory circuit. *Annals of the New York Academy of Sciences* [online]. 2013, **1279**(1), 22-31 [cit. 2020-07-20]. DOI: 10.1111/nyas.12084. ISSN 00778923. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/nyas.12084>
- BOURNE, Matthew N, Morgan D WILLIAMS, David A OPAR, Aiman AL NAJJAR, Graham K KERR a Anthony J SHIELD. Impact of exercise selection on hamstring muscle activation. *British Journal of Sports Medicine* [online]. 2017, **51**(13), 1021-1028 [cit. 2020-04-25]. DOI: 10.1136/bjsports-2015-095739. ISSN 0306-3674. Dostupné z: <http://bjsm.bmj.com/lookup/doi/10.1136/bjsports-2015-095739>
- ČIHÁK, Radomír. *Anatomie*. 3. dopl. vyd. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5636-3.
- CROSS, Kevin M., Kelly K. GURKA, Susan SALIBA, Mark CONAWAY a Jay HERTEL. Comparison of Hamstring Strain Injury Rates Between Male and Female Intercollegiate Soccer Athletes. *The American Journal of Sports Medicine* [online]. 2013, **41**(4), 742-748 [cit. 2020-07-22]. DOI: 10.1177/0363546513475342. ISSN 0363-5465. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0363546513475342>
- CRUZ, Ernesto a Ian B. MAITIN. Approach to the Physical Medicine & Rehabilitation Patient. *Current Diagnosis & Treatment: Physical Medicine & Rehabilitation* [online]. 1. New York: McGraw-Hill Education, 2015 [cit. 2020-04-27]. ISBN 978-0-07-179329-2. Dostupné z: accessmedicine.mhmedical.com/content.aspx?aid=1105126317
- DEWITT, John a Tim VIDALE. Recurrent hamstring injury: consideration following operative and non-operative management: consideration following operative and non-operative management. *International journal of sports physical therapy*. Sports Physical Therapy Section, 2014/11/, **9**(6), 798-812. ISSN 2159-2896. Dostupné také z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25383248>
- DOUGLAS, Jamie, Simon PEARSON, Angus ROSS a Mike MCGUIGAN. Chronic Adaptations to Eccentric Training: A Systematic Review. *Sports Medicine* [online].

2016, **47**(5), 917-941. DOI: 10.1007/s40279-016-0628-4. ISSN 0112-1642. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s40279-016-0628-4>

DOUGLAS, Jamie, Simon PEARSON, Angus ROSS a Mike MCGUIGAN. Eccentric Exercise: Physiological Characteristics and Acute Responses. *Sports Medicine* [online]. 2017, **47**(4), 663-675 [cit. 2020-04-11]. DOI: 10.1007/s40279-016-0624-8. ISSN 0112-1642. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s40279-016-0624-8>

DVOŘÁK, Radmil. Otevřené a uzavřené biomechanické řetězce v kinezioterapeutické praxi. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*. 2005, **12**(1), 18-22. ISSN 1211-2658.

DYLEVSKÝ, Ivan. *Speciální kineziologie*. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-1648-0.

EKSTRAND, J., M. HAGGLUND a M. WALDEN. Injury incidence and injury patterns in professional football: the UEFA injury study. *British Journal of Sports Medicine* [online]. 2011, **45**(7), 553-558 [cit. 2020-03-17]. DOI: 10.1136/bjism.2009.060582. ISSN 0306-3674. Dostupné z: <http://bjsm.bmj.com/cgi/doi/10.1136/bjism.2009.060582>

EKSTRAND, Jan, Markus WALDÉN a Martin HÄGGLUND. Hamstring injuries have increased by 4% annually in men's professional football, since 2001: a 13-year longitudinal analysis of the UEFA Elite Club injury study. *British Journal of Sports Medicine* [online]. 2016, **50**(12), 731-737 [cit. 2020-03-18]. DOI: 10.1136/bjsports-2015-095359. ISSN 0306-3674. Dostupné z: <http://bjsm.bmj.com/lookup/doi/10.1136/bjsports-2015-095359>

FRECKLETON, Grant a Tania PIZZARI. Risk factors for hamstring muscle strain injury in sport: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine* [online]. 2013, **47**(6), 351-358 [cit. 2020-04-13]. DOI: 10.1136/bjsports-2011-090664. ISSN 0306-3674. Dostupné z: <http://bjsm.bmj.com/lookup/doi/10.1136/bjsports-2011-090664>

HALADOVÁ, Eva a Ludmila NECHVÁTALOVÁ. *Vyšetřovací metody hybného systému*. 2. vyd., nezměn. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2003. ISBN 80-7013-393-7.

- HEDAYATPOUR, Nosratollah a Deborah FALLA. Physiological and Neural Adaptations to Eccentric Exercise: Mechanisms and Considerations for Training. *BioMed Research International* [online]. 2015, **2015**, 1-7 [cit. 2020-04-12]. DOI: 10.1155/2015/193741. ISSN 2314-6133. Dostupné z: <http://www.hindawi.com/journals/bmri/2015/193741/>
- HEIDERSCHEIT, Bryan C., Marc A. SHERRY, Amy SILDER, Elizabeth S. CHUMANOV a Darryl G. THELEN. Hamstring Strain Injuries: Recommendations for Diagnosis, Rehabilitation, and Injury Prevention. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* [online]. 2010, **40**(2), 67-81 [cit. 2020-08-15]. DOI: 10.2519/jospt.2010.3047. ISSN 0190-6011. Dostupné z: <http://www.jospt.org/doi/10.2519/jospt.2010.3047>
- HODY, Stéphanie, Jean-Louis CROISIER, Thierry BURY, Bernard ROGISTER a Pierre LEPRINCE. Eccentric Muscle Contractions: Risks and Benefits. *Frontiers in Physiology* [online]. 2019, **10** [cit. 2020-07-20]. DOI: 10.3389/fphys.2019.00536. ISSN 1664-042X. Dostupné z: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fphys.2019.00536/full>
- JANDA, Vladimír. *Svalové funkční testy*. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-0722-5.
- KOLÁŘ, Pavel. *Rehabilitace v klinické praxi*. Praha: Galén, c2009. ISBN 978-80-7262-657-1.
- KONRAD, Peter. The abc of emg. *A practical introduction to kinesiological electromyography*. 2005/01/01, **1**.
- KRAČMAR, Bronislav, Martina CHRÁSTKOVÁ a Radka BAČÁKOVÁ. *Fylogeneze lidské lokomoce*. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 2016. ISBN 9788024633794.
- KROBOT, Alois a Barbora KOLÁŘOVÁ. *Povrchová elektromyografie v klinické rehabilitaci*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2011. ISBN 978-80-244-2762-1.
- LARRUSKAIN, J., J. A. LEKUE, N. DIAZ, A. ODRIOZOLA a S. M. GIL. A comparison of injuries in elite male and female football players: A five-season prospective study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* [online].

2018, **28**(1), 237-245 [cit. 2020-07-22]. DOI: 10.1111/sms.12860. ISSN 09057188.
Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/sms.12860>

LEE, Justin W.Y., Kam-Ming MOK, Hardaway C.K. CHAN, Patrick S.H. YUNG a Kai- Ming CHAN. Eccentric hamstring strength deficit and poor hamstring-to-quadriceps ratio are risk factors for hamstring strain injury in football: A prospective study of 146 professional players. *Journal of Science and Medicine in Sport* [online]. 2018, **21**(8), 789-793 [cit. 2020-04-13]. DOI: 10.1016/j.jsams.2017.11.017. ISSN 14402440. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1440244017318224>

LEE, Justin W.Y., Kam-Ming MOK, Hardaway C.K. CHAN, Patrick S.H. YUNG a Kai- Ming CHAN. Eccentric hamstring strength deficit and poor hamstring-to-quadriceps ratio are risk factors for hamstring strain injury in football: A prospective study of 146 professional players. *Journal of Science and Medicine in Sport* [online]. 2018, **21**(8), 789-793 [cit. 2020-03-04]. DOI: 10.1016/j.jsams.2017.11.017. ISSN 14402440. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1440244017318224>

LEE, MARCUS J. C., SIOBHAN L. REID, BRUCE C. ELLIOTT a DAVID G. LLOYD. Running Biomechanics and Lower Limb Strength Associated with Prior Hamstring Injury. *Medicine & Science in Sports & Exercise* [online]. 2009, **41**(10), 1942-1951. DOI: 10.1249/MSS.0b013e3181a55200. ISSN 0195-9131. Dostupné z: <https://insights.ovid.com/crossref?an=00005768-200910000-00016>

LEPLEY, Lindsey K., Adam S. LEPLEY, James A. ONATE a Dustin R. GROOMS. Eccentric Exercise to Enhance Neuromuscular Control. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach* [online]. 2017, **9**(4), 333-340 [cit. 2020-04-10]. DOI: 10.1177/1941738117710913. ISSN 1941-7381. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1941738117710913>

LOWE, James S. a Peter G. ANDERSON. Contractile Cells. *Stevens Lowes Human Histology* [online]. Elsevier, 2015, 2015, s. 71-83 [cit. 2020-04-10]. DOI: 10.1016/B978-0-7234-3502-0.00005-X. ISBN 9780723435020. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B978072343502000005X>

- MALLIAROPOULOS, Nikolaos, Tomide ISINKAYE, Kostas TSITAS a Nicola MAFFULLI. Reinjury After Acute Posterior Thigh Muscle Injuries in Elite Track and Field Athletes. *The American Journal of Sports Medicine* [online]. 2011, **39**(2), 304-310 [cit. 2020-04-08]. DOI: 10.1177/0363546510382857. ISSN 0363-5465. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0363546510382857>
- MALLIAROPOULOS, Nikolaos G. Hamstring injuries classification. Anatomical, clinical or imaging orientated? *Muscles, Ligaments* [online]. 2012, **2**(4S), 24-25. ISSN 22404554. Dostupné z: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?authtype=shib&custid=s1240919&direct=true&db=asn&AN=87080131&site=eds-live&scope=site&lang=cs>
- MALLIAROPOULOS, Nikos, Tsaklis PANAGIOTIS, Mendiguchia JURDAN, Korakakis VASILIS, Pyne DEBASISH, Malliaras PETER a Kyriakos TSAPRALIS. Muscle and intensity based hamstring exercise classification in elite female track and field athletes: implications for exercise selection during rehabilitation. *Open Access Journal of Sports Medicine* [online]. 2015, (6), 209-17 [cit. 2020-08-02]. DOI: 10.2147/OAJSM.S79189. ISSN 1179-1543. Dostupné z: <http://www.dovepress.com/muscle-and-intensity-based-hamstring-exercise-classification-in-elite-peer-reviewed-article-OAJSM>
- MCARDLE, William D., Frank I. KATCH a Victor L. KATCH. *Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance*. Seventh edition. Philadelphia, [2010]. ISBN 978-0-7817-9781-8.
- MERLETTI, R a H HERMENS. Introduction to the special issue on the SENIAM European Concerted Action. *Journal of Electromyography and Kinesiology* [online]. 2000, **10**(5), 283-286. DOI: 10.1016/S1050-6411(00)00019-5. ISSN 10506411. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1050641100000195>
- MILLER, M.D. a S.R. THOMPSON. *DeLee & Drez's Orthopaedic Sports Medicine E-Book*. Elsevier Health Sciences, 2014. ISBN 9781455742219. Dostupné také z: <https://books.google.cz/books?id=iZRtAwAAQBAJ>
- MONAJATI, Alireza, Eneko LARUMBE-ZABALA, Mark GOSS-SAMPSON a Fernando NACLERIO. Analysis of the Hamstring Muscle Activation During two Injury Prevention Exercises. *Journal of Human Kinetics* [online]. 2017, **60**(1), 29-37

[cit. 2020-08-15]. DOI: 10.1515/hukin-2017-0105. ISSN 1899-7562. Dostupné z:
<http://content.sciendo.com/view/journals/hukin/60/1/article-p29.xml>

OPAR, David A., Morgan D. WILLIAMS a Anthony J. SHIELD. Hamstring Strain Injuries. *Sports Medicine* [online]. 2012, **42**(3), 209-226. DOI: 10.2165/11594800-000000000-00000. ISSN 0112-1642. Dostupné z:
<http://link.springer.com/10.2165/11594800-000000000-00000>

OPAR, David A., Timothy PIATKOWSKI, Morgan D. WILLIAMS a Anthony J. SHIELD. A Novel Device Using the Nordic Hamstring Exercise to Assess Eccentric Knee Flexor Strength: A Reliability and Retrospective Injury Study. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* [online]. 2013, **43**(9), 636-640 [cit. 2020-04-13]. DOI: 10.2519/jospt.2013.4837. ISSN 0190-6011. Dostupné z:
<http://www.jospt.org/doi/10.2519/jospt.2013.4837>

PANAYI, Stephanie. The need for lumbar–pelvic assessment in the resolution of chronic hamstring strain. *Journal of Bodywork and Movement Therapies* [online]. 2010, **14**(3), 294-298 [cit. 2020-08-03]. DOI: 10.1016/j.jbmt.2009.08.004. ISSN 13608592. Dostupné z:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1360859209001168>

PETERSEN, Jesper, Kristian THORBORG, Michael Bachmann NIELSEN, Esben BUDTZ-JØRGENSEN a Per HÖLMICH. Preventive Effect of Eccentric Training on Acute Hamstring Injuries in Men's Soccer. *The American Journal of Sports Medicine* [online]. 2011, **39**(11), 2296-2303 [cit. 2020-08-02]. DOI: 10.1177/0363546511419277. ISSN 0363-5465. Dostupné z:
<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0363546511419277>

RASSIER, Dilson E. The mechanisms of the residual force enhancement after stretch of skeletal muscle: non-uniformity in half-sarcomeres and stiffness of titin. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* [online]. 2012, **279**(1739), 2705-2713 [cit. 2020-07-20]. DOI: 10.1098/rspb.2012.0467. ISSN 0962-8452. Dostupné z:
<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2012.0467>

ROSENE, John M, Tracey D FOGARTY a Brian L MAHAFFEY. Isokinetic Hamstrings: Quadriceps Ratios in Intercollegiate Athletes: Quadriceps Ratios in Intercollegiate Athletes. *Journal of athletic training*. National Athletic Trainers'

Association, 2001/12/, **36**(4), 378-383. ISSN 1938-162X. Dostupné také z:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12937479>

SHIELD, Anthony J. a Matthew N. BOURNE. Hamstring Injury Prevention Practices in Elite Sport: Evidence for Eccentric Strength vs. Lumbo-Pelvic Training. *Sports Medicine* [online]. 2018, **48**(3), 513-524 [cit. 2020-03-20]. DOI: 10.1007/s40279-017-0819-7. ISSN 0112-1642. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s40279-017-0819-7>

SIDDLE, James, Matt GREIG, Kristian WEAVER, Richard Michael PAGE, Damian HARPER a Christopher Michael BROGDEN. Acute adaptations and subsequent preservation of strength and speed measures following a Nordic hamstring curl intervention: a randomised controlled trial. *Journal of Sports Sciences* [online]. 2018, **37**(8), 911-920 [cit. 2020-03-21]. DOI: 10.1080/02640414.2018.1535786. ISSN 0264-0414. Dostupné z:
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02640414.2018.1535786>

STOPPANI, James. *Velká kniha posilování: tréninkové metody a plány: 381 posilovacích cviků*. Druhé, přepracované a rozšíření vydání. Přeložil Libor SOUMAR. Praha: Grada Publishing, 2016, 640 s. Sport extra. ISBN 978-80-247-5643-1.

SUNG, Paul S. a Dongchul C. LEE. Gender differences in onset timing and activation of the muscles of the dominant knee during stair climbing. *The Knee* [online]. 2009, **16**(5), 375-380 [cit. 2020-08-16]. DOI: 10.1016/j.knee.2009.02.003. ISSN 09680160. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0968016009000350>

THORBORG, Kristian. Why hamstring eccentrics are hamstring essentials. *British Journal of Sports Medicine* [online]. 2012, **46**(7), 463-465 [cit. 2020-03-20]. DOI: 10.1136/bjsports-2011-090962. ISSN 0306-3674. Dostupné z:
<http://bjsm.bmj.com/lookup/doi/10.1136/bjsports-2011-090962>

VAN DER HORST, Nick, Dirk-Wouter SMITS, Jesper PETERSEN, Edwin A. GOEDHART a Frank J.G. BACKX. The Preventive Effect of the Nordic Hamstring Exercise on Hamstring Injuries in Amateur Soccer Players. *The American Journal of Sports Medicine* [online]. 2015, **43**(6), 1316-1323 [cit. 2020-04-12]. DOI:

10.1177/0363546515574057. ISSN 0363-5465. Dostupné z:
<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0363546515574057>

VAN HOOREN, Bas a Frans BOSCH. Is there really an eccentric action of the hamstrings during the swing phase of high-speed running? part I: A critical review of the literature. *Journal of Sports Sciences* [online]. 2016, **35**(23), 2313-2321 [cit. 2020-04-06]. DOI: 10.1080/02640414.2016.1266018. ISSN 0264-0414. Dostupné z:
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02640414.2016.1266018>

WONGSAYA, Eakarach a Samatchai CHAMNONGKICH. *Validation of a one-leg sit-to-stand test for the measurement of knee extensor muscle strength and endurance in young adults*. 2012/05/02.

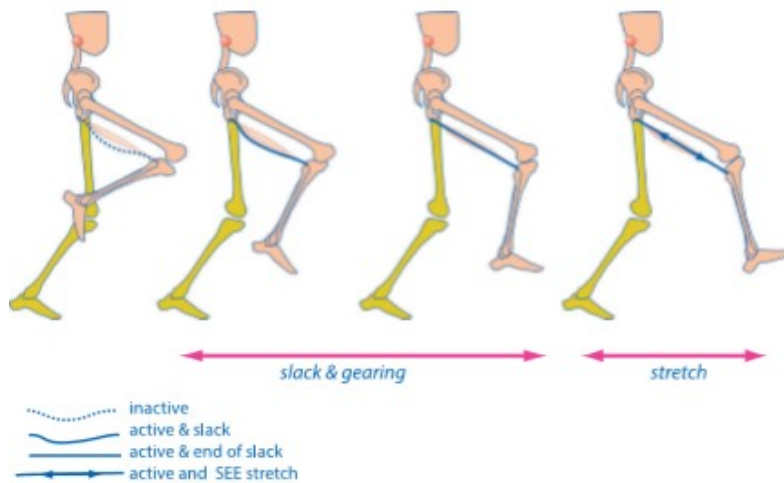
WOODLEY, Stephanie J a Richard N STOREY. REVIEW OF HAMSTRING ANATOMY. *Aspetar Sports Medicine Journal* [online]. 2013, **2**(9), 432-437 [cit. 2020-6-1]. Dostupné z: <https://www.aspetar.com/journal/viewarticle.aspx?id=42>

YU, Bing, Hui LIU a William E. GARRETT. Mechanism of hamstring muscle strain injury in sprinting. *JOURNAL OF SPORT AND HEALTH SCIENCE* [online]. 2017, **6**(2), 130-132. DOI: 10.1016/j.jshs.2017.02.002. ISSN 20952546. Dostupné z:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095254617300261?via%3Dihub>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Zachování izometrické kontrakce ve střední švihové fázi krokového cyklu	69
Příloha č. 2: Rozdělení úrazů dle lokalizace, typu a délky rekonvalescence.....	69
Příloha č. 3: Formulář pro vstupní vyšetření	70
Příloha č. 4: Nové experimentální zařízení pro měření excentrické síly hamstringů během NHE.....	72
Příloha č. 5: Souhlas (osoby) s videozáznamem a/nebo fotografováním.....	72
Příloha č. 6: Lokalizace jednotlivých elektrod pro měření SEMG	74
Příloha č. 7: Ukázka stanovení period u NHE pomocí elektrického goniometru	76
Příloha č. 8: Rozdíl průměrných a maximálních hodnot EMG aktivace BF a ST při NHE	76
Příloha č. 9: Rozdíl průměrných a maximálních hodnot EMG aktivace BF a ST při SLE	77
Příloha č. 10: Histogramy popisující rozdíly v aktivačních časech BF a ST na pravé a levé straně	78

PŘÍLOHY



Příloha č. 1: Zachování izometrické kontrakce ve střední švihové fázi krokového cyklu (Van Hooren & Bosch, 2016)

	Total	1–3 Days	4–7 Days	8–28 Days	>28 days
Injury location					
Head and neck	77 (2)	19 (2)	23 (2)	29 (2)	6
Neck/cervical spine	23	11 (1)	8	3	1
Shoulder/clavícula	80 (2)	12 (1)	16 (1)	30 (2)	22 (3)
Upper arm	3	1	2	0	0
Elbow	24	3	10	8	3
Forearm	5	1	0	2	2
Wrist	8	1	1	4	2
Hand/finger/thumb	38	8	6	16	8
Sternum/ribs/upper back	47 (1)	9	16 (1)	19 (1)	3
Abdomen	31	3	7	17 (1)	4
Lower back/pelvis	237 (5)	74 (8)	78 (7)	66 (4)	19 (3)
Hip/groin	616 (14)	119 (12)	169 (15)	256 (16)	72 (10)
Thigh	1064 (23)	184 (19)	272 (23)	469 (28)	139 (20)
Knee	818 (18)	183 (19)	155 (13)	268 (16)	212 (30)
Lower leg/Achilles tendon	511 (11)	116 (12)	132 (11)	178 (11)	85 (12)
Ankle	625 (14)	150 (15)	185 (16)	220 (13)	70 (10)
Foot/toe	268 (6)	75 (8)	81 (7)	63 (4)	49 (7)
Unknown	8	2	3	3	0
Injury type					
Fracture	160 (4)	7	9	59 (4)	85 (12)
Other bone injury	26	5	1	6	14 (2)
Dislocation/subluxation	50 (1)	5	4	24 (1)	17 (2)
Sprain/ligament injury	828 (18)	123 (13)	197 (17)	334 (20)	174 (25)
Meniscus/cartilage	124 (3)	3	7	41 (2)	73 (10)
Muscle injury/strain	1581 (35)	212 (22)	397 (34)	765 (46)	207 (30)
Tendon injury	327 (7)	95 (10)	71 (6)	101 (6)	60 (9)
Haematoma/contusion	744 (17)	306 (32)	282 (24)	141 (9)	15 (2)
Abrasion	7	3	3	1	0
Laceration	31	10 (1)	11	10	0
Concussion	34	5	14 (1)	14	1
Nerve injury	29	7	3	14	5
Synovitis/effusion	158 (4)	55 (6)	36 (3)	55 (3)	12 (2)
Overuse complaints	285 (6)	110 (11)	99 (9)	59 (4)	17 (2)
Other type	91 (2)	23 (2)	27 (2)	24 (1)	17 (2)
Total injuries	4483	971	1164	1651	697

**Příloha č. 2: Rozdělení úrazů dle lokalizace, typu a délky rekonvalescence
(Ekstrand et al., 2011)**

Protokol k praktické části diplomové práce

TÉMA DIPLOMOVÉ PRÁCE

EMG studie: Nordic hamstring exercises vs. izometrické posilování

Vedoucí práce: MUDr. Kryštof Slabý

Všechny Vámi podané informace a údaje budou použity ke zpracování této diplomové práce. Tímto bych vám rád poděkoval ochotu a pomoc účastnit se vstupního vyšetření a měření pomocí EMG.

Vstupní vyšetření:

Základní údaje o pacientovi	
Jméno a příjmení	
Pohlaví	
Věk	
Váha (kg)	
Výška (cm)	
BMI	
Somatotyp	endomorf x mezomorf ektomorf
Odrazová DKK	

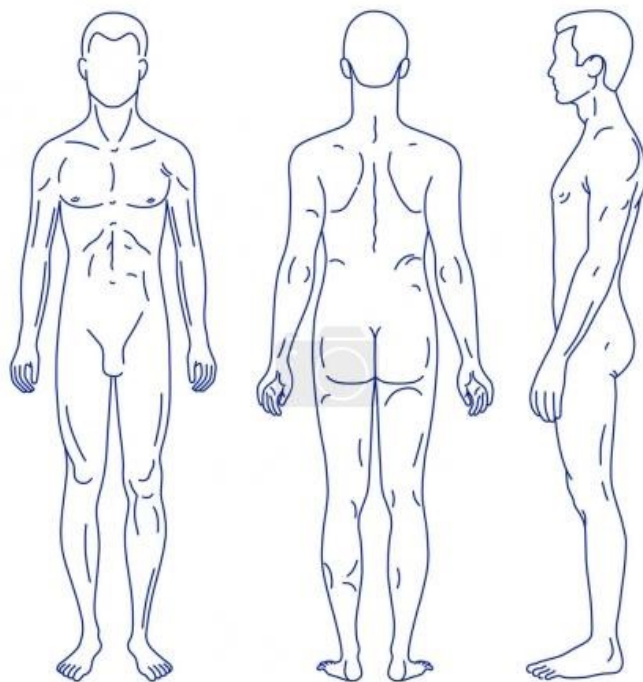
Pravák x levák

Sportovní anamnéza:

Objektivně (zepředu, zezadu, z boku)

Hlava – ramena – trup – pánev – koleno – kotník

- Lopatky, thorakobrachiální trojúhelníky, tajle
- Hrudník, oblast břicha
- Páteř
- Pánev



- Kyčel, koleno, kotník, klenba nohy

Vyšetření pánve

- Postavení hřebenu lopaty kyčelní, předních spin (SIAS), zadních spin (SIPS)
- Postavení SIPS vůči SIAS
- Vyšetření inflare x outflare pánve (infragluteální rýhy)
- Michaelisova routa
- Fenomén předbíhání
- Spine sign
- Trendelenburg-Duchennova zkouška
- SI pružení (v supinační poloze)

Vyšetření stoje a chůze

- Aspekce přirozené chůze
- Vyšetřené modifikované chůze (o zúžené bázi, pozpátku, s elevací HKK)

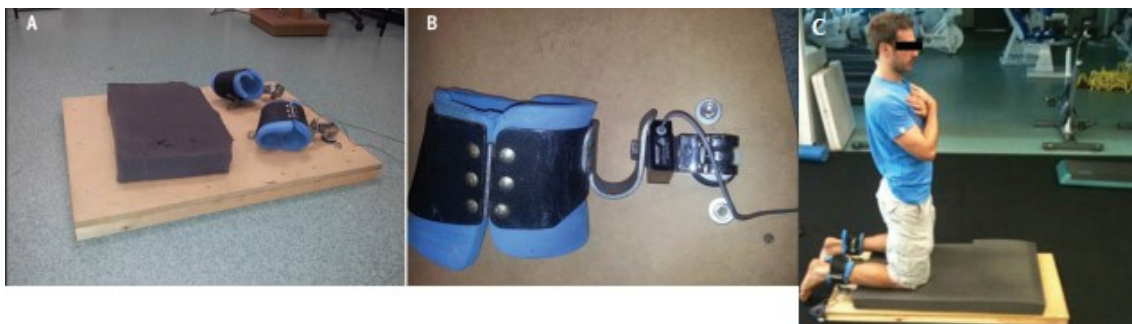
Vyšetření posturální stabilizace a posturální reaktivit

- Extenční test
- Test extenze v kyčlích
- Brániční test
- Test hlubokého dřepu
- Test polohy na čtyřech

Další testy:

- Thomayerova zkouška:
- Výpad
- Single leg sit to stand test

Vyšetření zkrácených svalů dle Jandy (0,1,2)	
Flexory kyčelního kloubu	
Flexory kolenního kloubu	
Adduktory kyčelního kloubu	
Paravertebrální svalstvo	

Příloha č. 3: Formulář pro vstupní vyšetření**Příloha č. 4: Nové experimentální zařízení pro měření excentrické síly hamstringů během NHE (Opar, Piatkowski, Williams & Shield, 2013)**

FN MOTOL

FAKULTNÍ NEMOCNICE V MOTOLE
V ÚVALU 84, 150 06 PRAHA 5

Tel.: 22443 1111, www.fnmotol.cz

Souhlas (osoby) s videozáznamem a/nebo fotografováním ve Fakultní nemocnici v Motole za účelem pořizování výukových materiálů, publikací, podkladů pro vědecký výzkum

Jméno a příjmení:..... nar.

.....

bydliště:

.....

Já, níže podepsaný, tímto **souhlasím** ve smyslu ust. § 84 a násl. zákona č. 89/2012 Sb., občanský zákoník, ve znění pozdějších předpisů, s fotografováním a/nebo pořízením videozáznamu

- své osoby a/nebo
- svého nezletilého dítěte jméno a příjmení:.....

ve Fakultní nemocnici v Motole, IČO: 00064203, se sídlem V Úvalu 84, Praha 5, PSČ 150 06 (dále jen „FN Motol“), tj. s pořízením fotografií a/nebo videozáznamu zachycujícími části mého těla a/nebo mou podobu (nebo podobu nezletilého dítěte), s časově a územně neomezeným použitím, to vše libovolnou technologií a v neomezeném počtu užití. Souhlasem s vlastním vyobrazením částí těla, podoby (nebo částí těla, podoby nezletilého dítěte) uděluji souhlas též k jeho obvyklému a s ohledem na okolnosti případu zároveň i pro mě předvídatelnému rozmnožování a šíření.

Podpisem tohoto dokumentu vyjadřuji souhlas s tím, že videozáznamy a/nebo fotografie jsou pořizovány k účelům:

- použití pro dokumentaci zdravotního stavu, jeho vývoje v čase, postupu léčby pro účely výzkumu a/nebo vzdělávání odborných zdravotnických pracovníků k jejich studiu;

- zpřístupnění veřejnosti, a to vcelku nebo po částech, počítačovou nebo obdobnou sítí;
- zařazení do periodických a neperiodických publikací a/nebo článků se zdravotnickou tematikou, rozmnožování těchto publikací a rozšiřování všemi způsoby; zpracování výukových materiálů a publikací.

Souhlasím s tím, že videozáznamy a/nebo fotografie mohou být měněny, použity jako součást díla souborného nebo může být použita pouze jejich část. Tento souhlas uděluji dobrovolně na dobu neurčitou.

V Praze, dne.....

.....
podpis

V případě, že osoba, jejíž videozáznamy a/nebo fotografie jsou pořizovány, nedosáhla věku 18-ti let, nebo není právně způsobilá k podpisu tohoto souhlasu, podepíše souhlas její oprávněný zástupce.

Identifikace zákonného zástupce:

Jméno a příjmení:.....

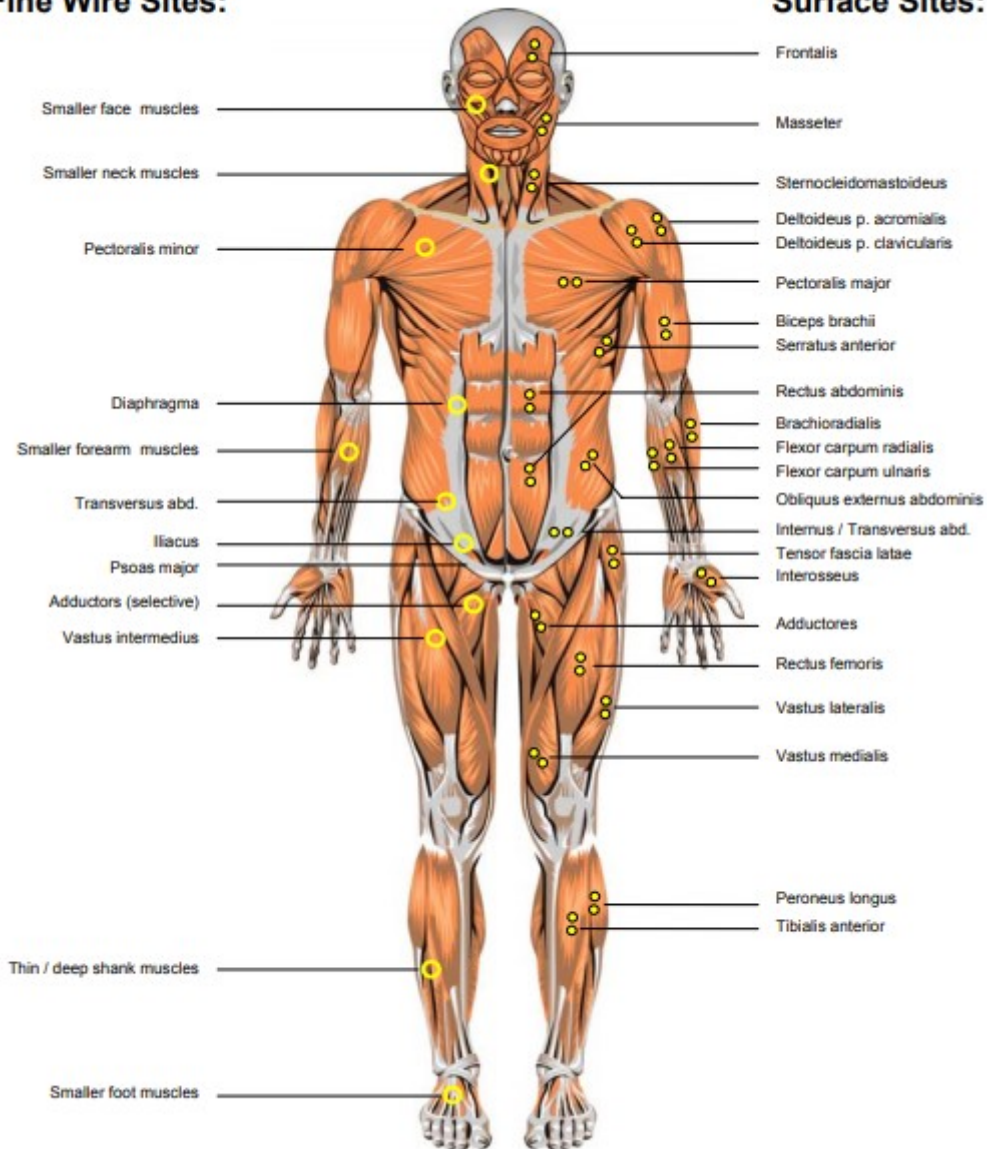
Vztah k osobě:

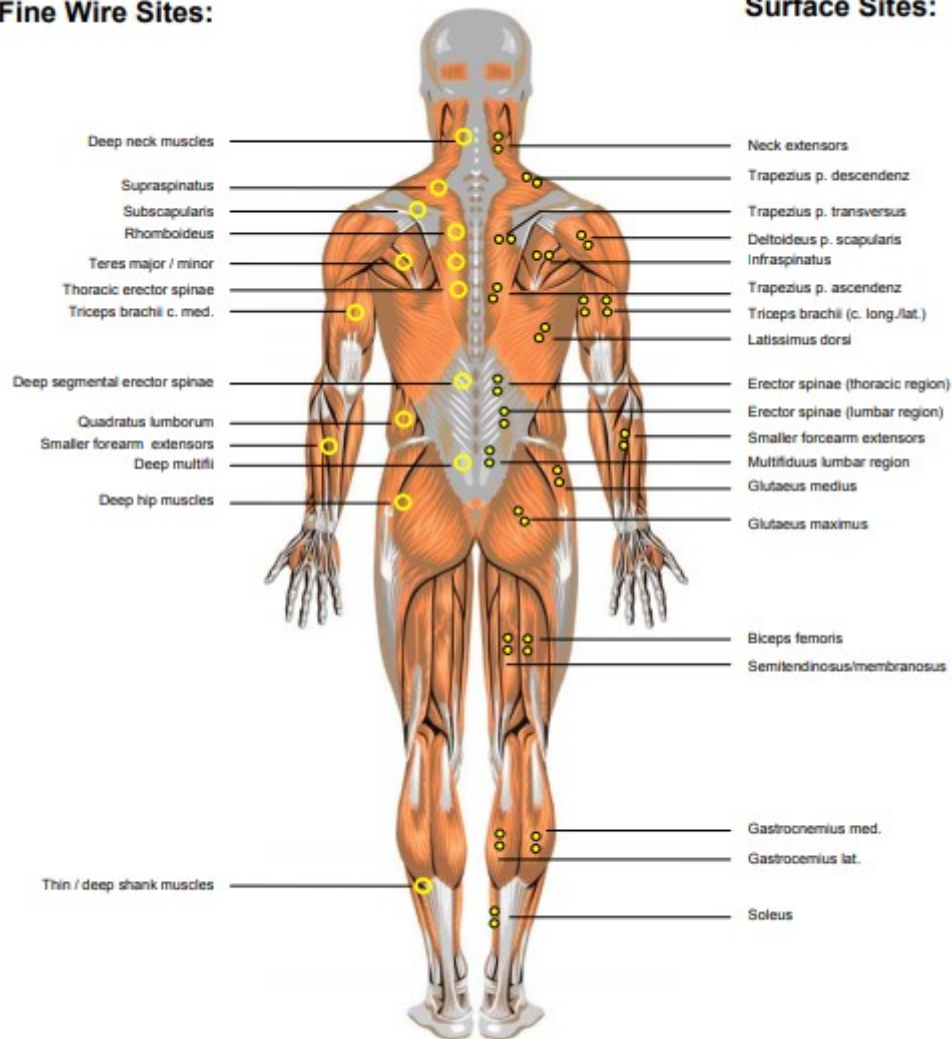
.....
Podpis

Příloha č. 5: Souhlas (osoby) s videozáznamem a/nebo fotografováním ve Fakultní nemocnici v Motole za účelem pořizování výukových materiálů, publikací, podkladů pro vědecký výzkum

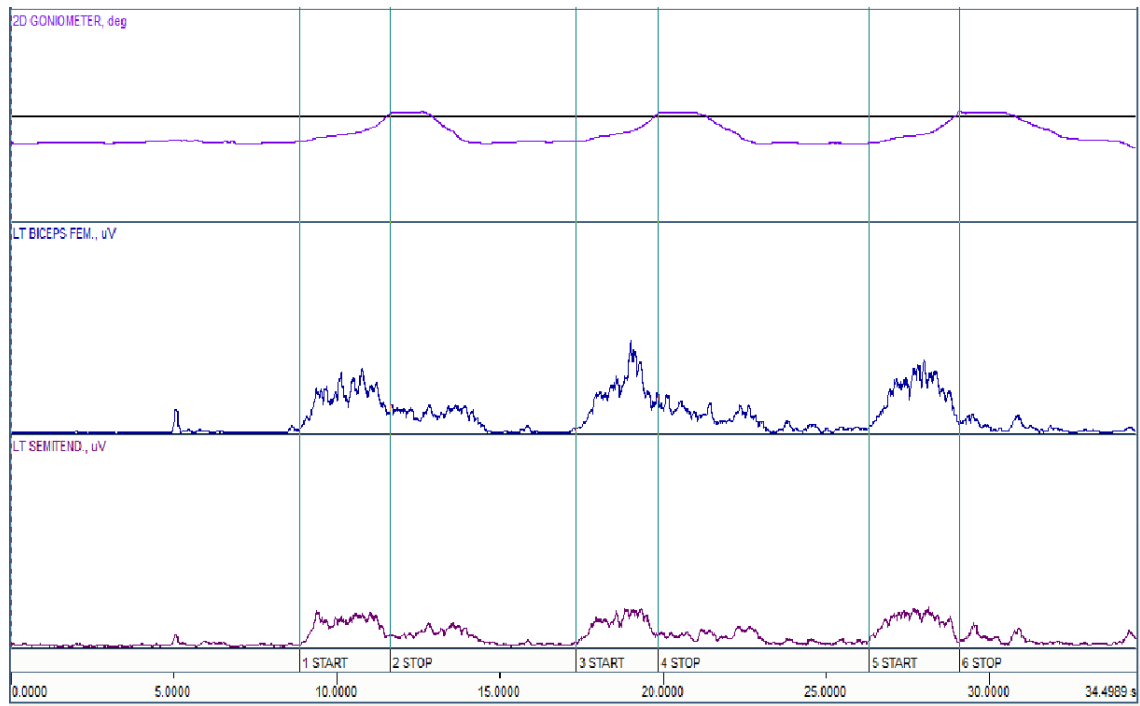
Fine Wire Sites:

Surface Sites:

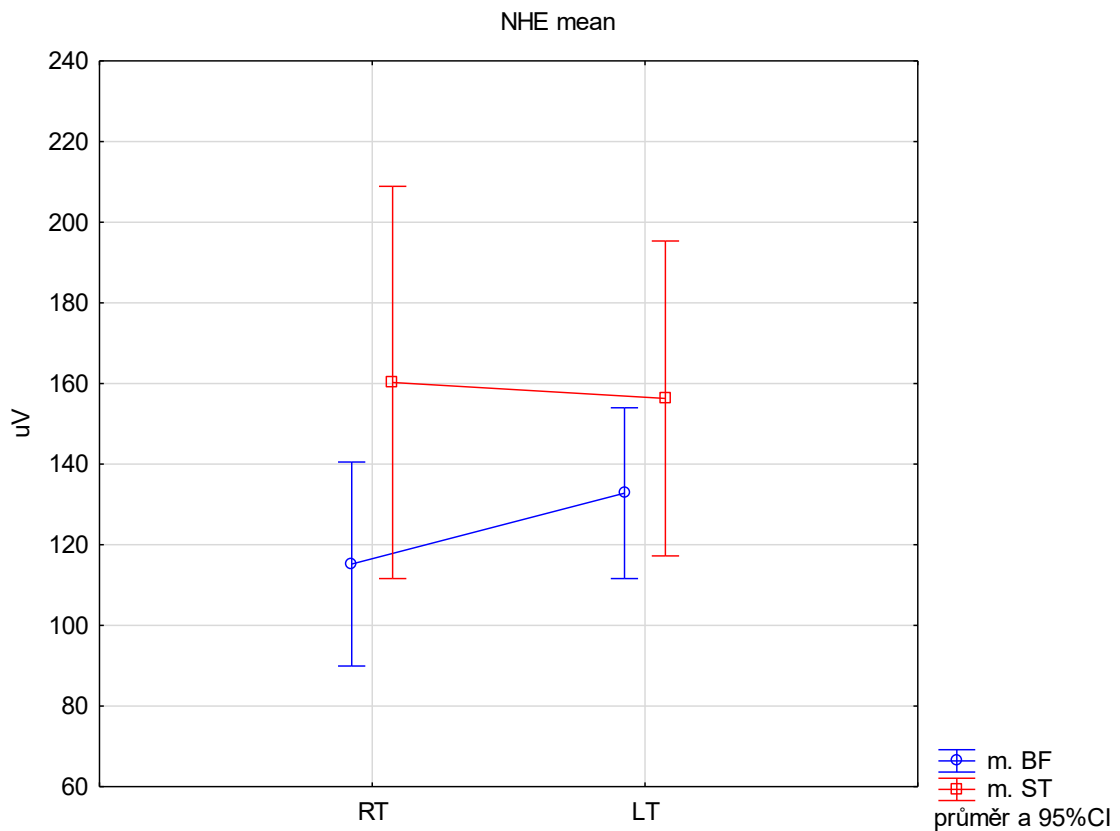


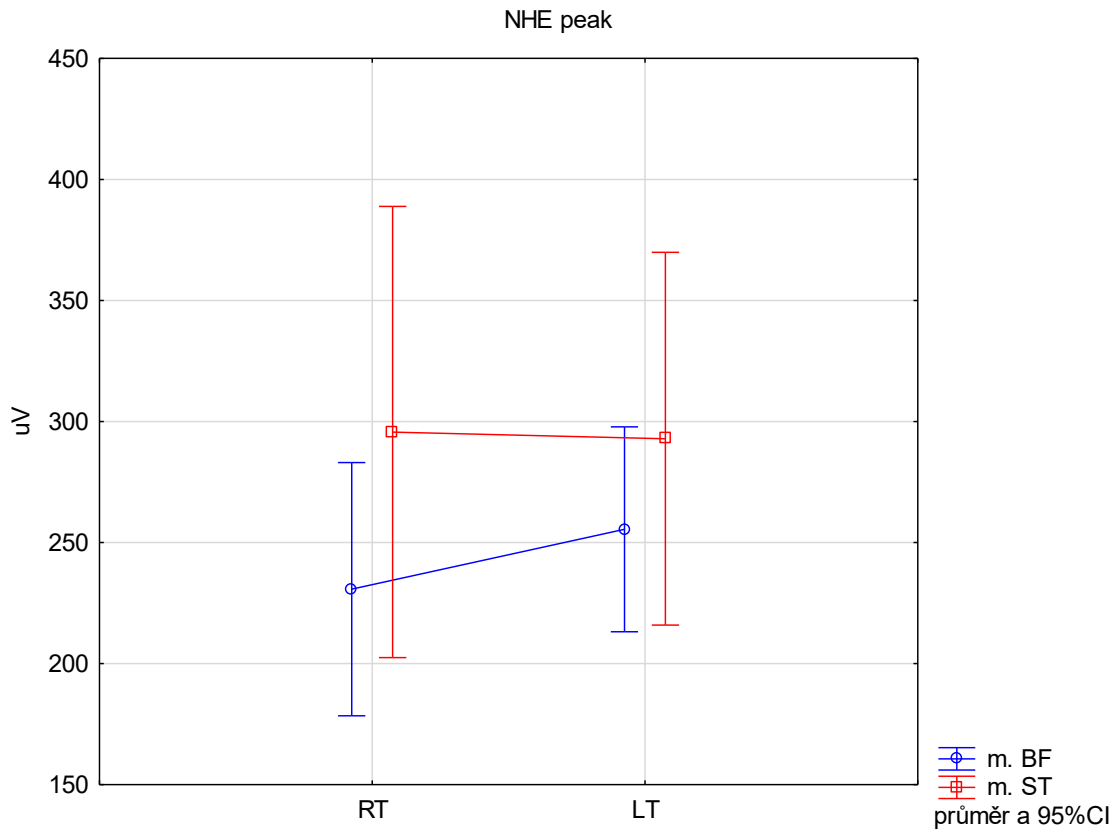
Fine Wire Sites:**Surface Sites:**

Příloha č. 6: Lokalizace jednotlivých elektrod pro měření SEMG (Konrad, 2005)

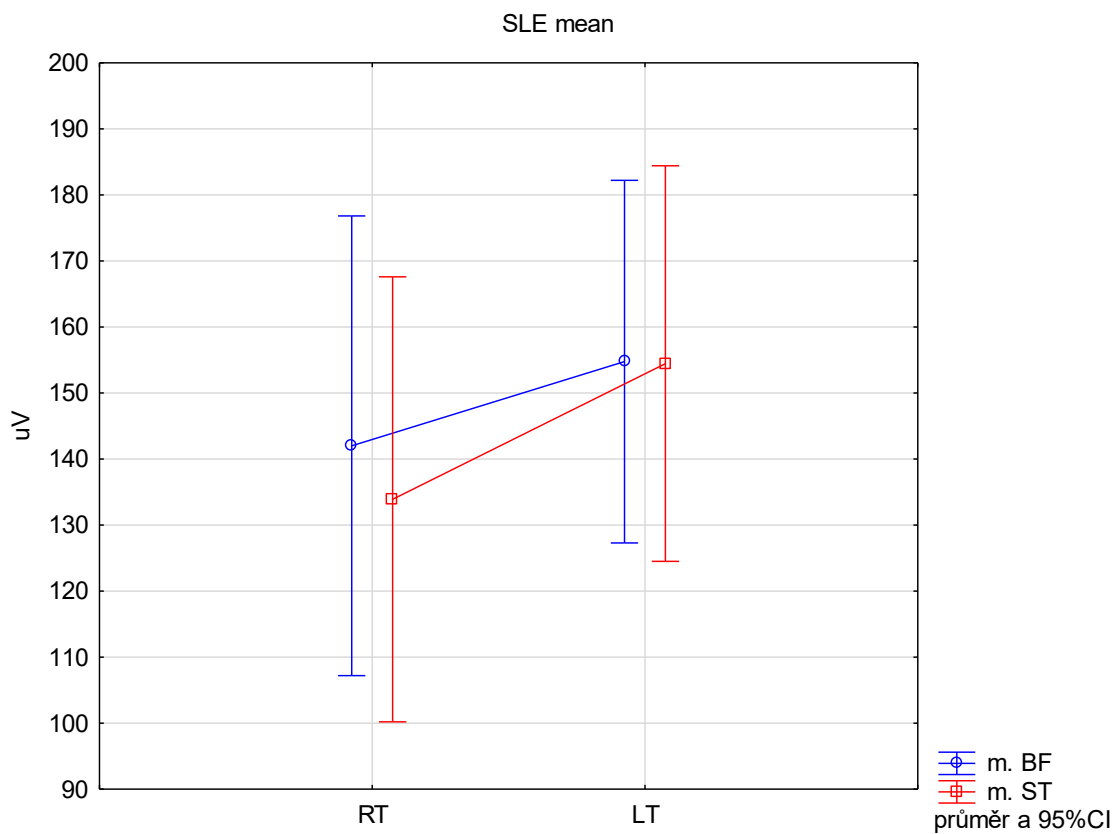


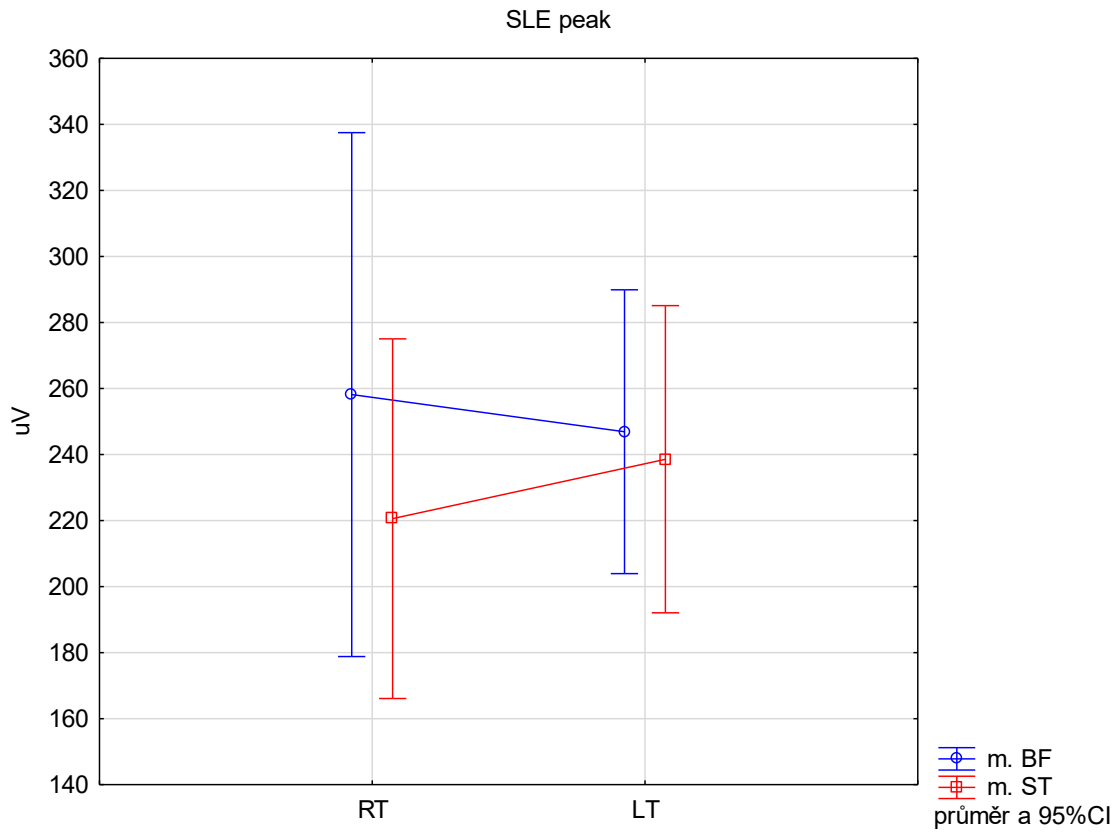
Příloha č. 7: Ukázka stanovení period u NHE pomocí elektrického goniometru



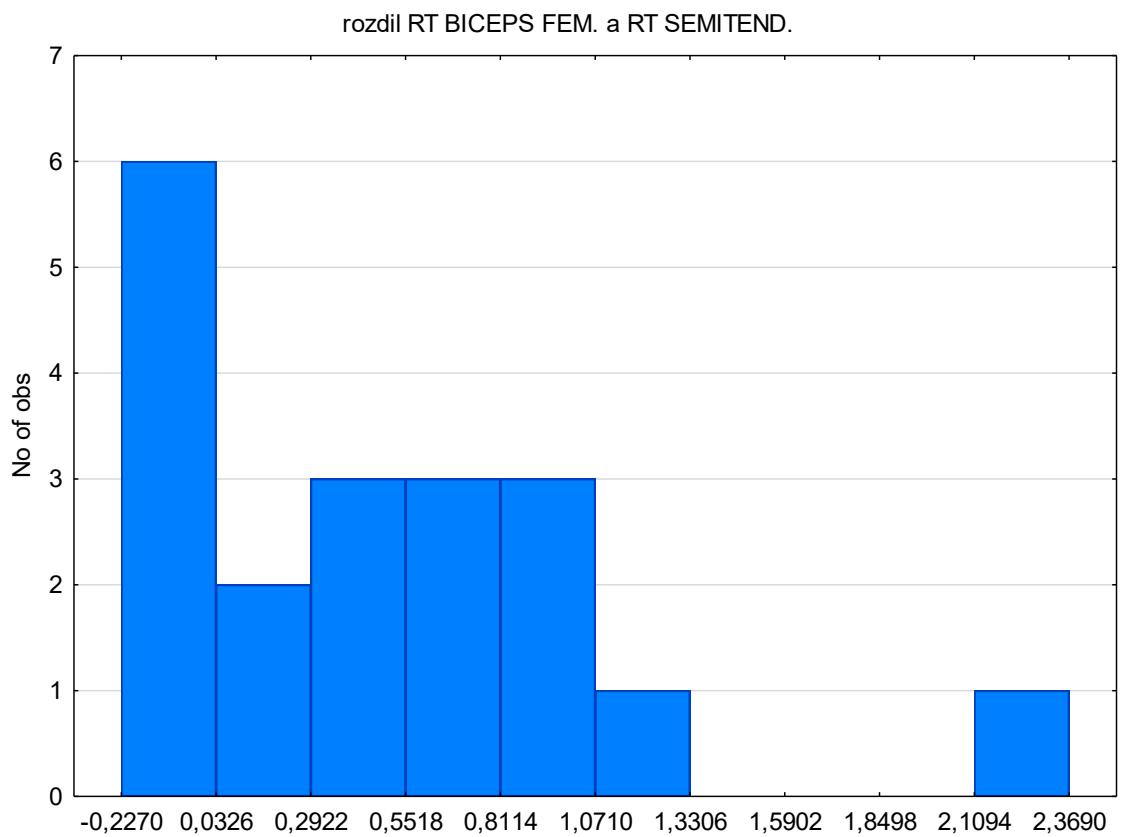


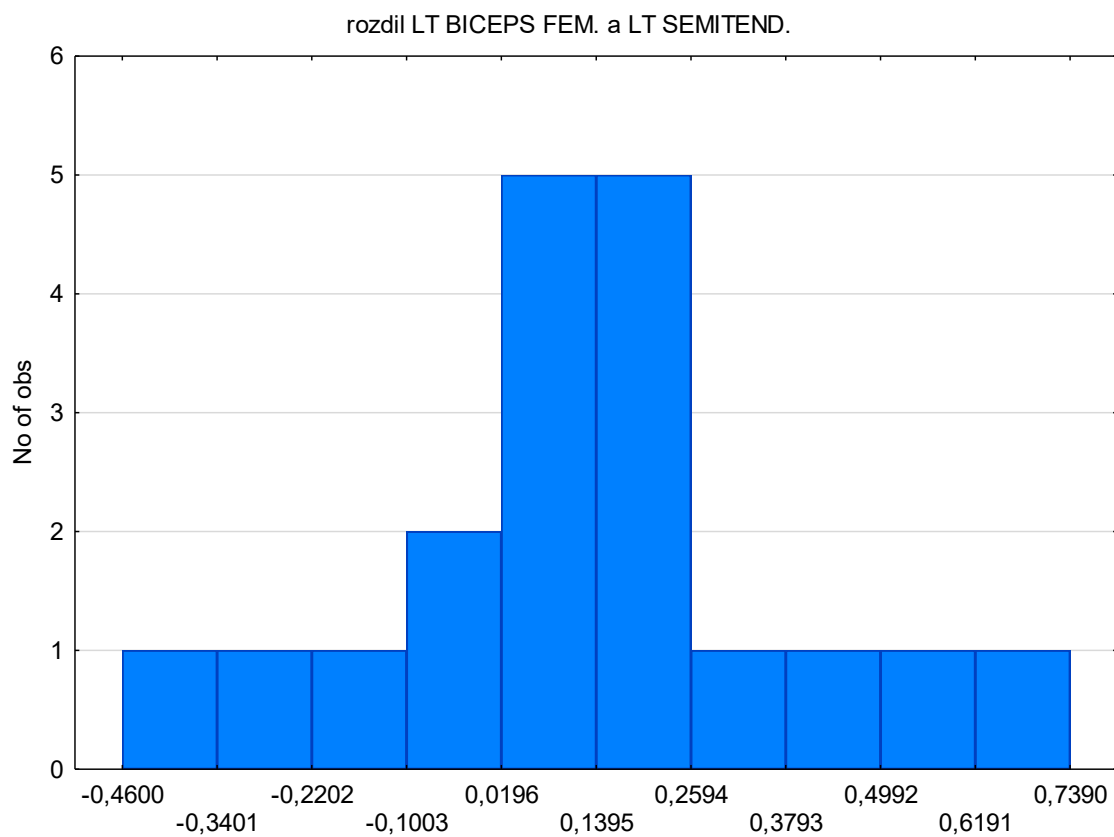
Příloha č. 8: Rozdíl průměrných a maximálních hodnot EMG aktivace BF a ST při NHE





Příloha č. 9: Rozdíl průměrných a maximálních hodnot EMG aktivace BF a ST při SLE





Příloha č. 10: Histogramy popisující rozdíly v aktivačních časech BF a ST na pravé a levé straně