Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta tělesné kultury

EXCENTRICKÁ KONTRAKCE

Diplomová práce

(bakalářská)

Autor: Michal Koláček, Fyzioterapie

Vedoucí práce: PhDr. David Smékal, Ph. D.

Olomouc 2013

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Michal Koláček

Název bakalářské práce: Excentrická kontrakce

Pracoviště: Katedra fyzioterapie

Vedoucí bakalářské práce: PhDr. David Smékal, Ph. D.

Rok obhajoby bakalářské práce: 2013

Abstrakt:

Práce se zaměřuje na vliv excentrické kontrakce a excentrického cvičení na pohybový aparát. Zkoumá možnosti využití excentrických cvičení ve fyzioterapeutických technikách a ve sportovním tréninku. Na základě literární rešerše shrnuje různé způsoby využívání excentrických cvičení v praxi a posouzení možného negativního dopadu i rizik poškození tkáně za různých fyziologických a patologických podmínek. V závěru je navrženo řešení, jakým způsobem je možné se těmto negativním vlivům vyhnout. Součástí práce je kazuistika.

Klíčová slova:

svalová síla, excentrická kontrakce, excentrická cvičení, poškození tkáně, stárnutí svalu

Souhlasím s půjčováním bakalářské práce v rámci knihovních služeb.

Bibliographical identification

Author´s first name and surname: Michal Koláček

Tittle of the master thesis: Eccentric contraction

Department: The Department of Physiotherapy

Supervisor: PhDr. David Smékal, Ph. D.

The year of presentation: 2013

Abstract:

The work focuses on the influence of eccentric contraction and eccentric exercise on the musculoskeletal system. It explores the possibilities of using eccentric exercise in physiotherapeutic techniques and sports training. The work is based on literature review and gives summary of various ways of using eccentric exercise in practice and assess the possible negative impact and risks of tissue damage under different physiological and pathological conditions. In conclusion the solution how it is possible to avoid these negative effects is proposed. The thesis is completed by the case report.

Keywords:

muscle strenght, eccentric contraction, eccentric exercise, muscle demage, aging of muscle

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

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně pod vedením PhDr. Davida Smékala, Ph. D. a uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržoval zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 20. března 2013

Děkuji PhDr. Davidu Smékalovi, Ph. D. za pomoc a cenné rady, které mi poskytl při zpracování bakalářské práce.

OBSAH

1 ÚVOD....9

2 PŘEHLED POZNATKŮ....10

2.1 Funkce svalu....10

2.2 Stavba svalu....11

2.3 Mechanické vlastnosti svalu....13

2.4 Svalová plasticita....14

2.5 Síla svalu....14

2.6 Svalová kontrakce....15

2.6.1 Molekulární princip svalové kontrakce....16

2.6.2 Izometrická kontrakce....17

2.6.3 Koncentrická kontrakce....17

2.6.4 Excentrická kontrakce....18

3 EXCENTRICKÁ SVALOVÁ KONTRAKCE....20

3.1 Historický pohled na excentrickou kontrakci....20

3.2 Neurofyziologický pohled na kontrakci....21

3.3 Adaptační změny svalu v důsledku excentrické kontrakce....22

3.3.1 Vliv na šlachu....22

4 MOŽNOSTI VYUŽITÍ EXCENTRICKÝCH CVIČENÍ VE FYZIOTERAPII....24

4.1 Fyziologie excentrických cvičení....24

4.2 Posouzení vlivu excentrických cvičení na pohybový aparát....25

4.3 Možnosti využití excentrické kontrakce v terapii vybraných diagnóz....25

4.3.1 Entezopatie....26

4.3.2 Tendopatie....27

4.3.3 Tendopatie Achillovy šlachy....28

4.4 Srovnání vlivu koncentrického a excentrického cvičení při rehabilitaci tendopatií....28

4.5 Agisticko-excentrické kontrakční postupy....29

4.6 Brügger koncept....29

5 VYUŽITÍ EXCENTRICKÉ KONTRAKCE VE SPORTU....31

5.1 Plyometrie....31

5.2 Využití excentrické kontrakce v atletice....32

5.2.1 Excentrická cvičení jako prevence zranění hamstringů....33

5.3 Využití excentrických cvičení ve volejbale....34

6 NEGATIVNÍ DOPAD EXCENTRICKÉHO CVIČENÍ....35

6.1 Rizika poškození tkáně....37

6.2 Stárnutí svalu a excentrická cvičení....38

7 KAZUISTIKA....41

7.1 Anamnéza....41

7.2 Vyšetření....42

7.2.1 Závěr vyšetření....44

7.3 Rehabilitační plán....44

7.3.1 Krátkodobý rehabilitační plán....44

7.3.2 Dlouhodobý rehabilitační plán....45

7.4 Navržené excentrické cviky....45

8 DISKUSE....48

9 ZÁVĚR....51

10 SOUHRN....52

11 SUMMARY....53

12 PŘÍLOHA....54

1 ÚVOD

Excentrická kontrakce nás provází doslova na každém kroku. Je to brzdná kontrakce, která pracuje proti vnějším silám anebo jiným svalům (antagonistům). Je součástí každého pohybu, protože mozek zajišťuje plynulost pohybů díky neustálé ko-kontrakci vzájemně antagonistických skupin. Pohyb segmentů je stále kontrolován a brzděn pomocí excentrické kontrakce, aby nedošlo k poškození měkkých tkání. Při poruše v oblasti řízení motoriky dochází ke spasticitě. Excentrická kontrakce je tedy v lidské, ale i zvířecí motorice všudypřítomna. Přesto zůstává již desetiletí stranou studií a vědeckých bádání. Mnoho zahraničních i tuzemských prací se věnovalo výzkumu koncentrické i izometrické kontrakce a na prokázaných výsledcích se dnes již shoduje valná většina odborníků. O excentrické kontrakci ale i dnes většina prací stále cudně mlčí. Názory na ni se velmi různí a informace týkající se její fyziologie a biomechaniky jsou zatím stále spíše v rovině teorií.

Jeden z mála faktů, které o excentrické kontrakci víme, je ten, že přetížení netrénovaného svalu excentrickou kontrakcí způsobuje jeho poškození. Přesným místem a mechanismem poškození se odborníci začínají zabývat až dnes a nemají v této otázce ještě úplně jasno. Posledními výzkumy byly však zjištěny i přínosy excentrické kontrakce a její možné použití v léčbě a rehabilitaci některých diagnóz.

Hlavním cílem bakalářské práce je podat ucelený náhled na excentrickou svalovou kontrakci na základě literární rešerše. Zaměřuji se na možnosti využití excentrických cvičení v terapii vybraných diagnóz a využití ve sportovním tréninku. Dílčími cíli jsou: specifikace možných negativních dopadů excentrické kontrakce, popis adaptačních změn svalu způsobené vlivem excentrické kontrakce, posouzení možných rizik poškození tkáně a určení, jakým způsobem je možné se těmto negativním vlivům vyhnout.

2 PŘEHLED POZNATKŮ

Kosterní sval je schopen produkovat sílu, která způsobuje pohyb segmentu, na který se upíná. Aktivací svalu je generována síla přitahující úpony svalu k sobě. Není-li odpor pohybu větší než vytvářená síla, dochází k pohybu. Popsaná schopnost svalu zkrátit se, je označována jako kontrakce (Máček & Radvanský, 2011).

2.1 Funkce svalu

Hlavní svalovou funkcí je kontrakce. Svalová kontrakce je výsledkem aktivního stahu zapojených motorických jednotek, které působí spolu s elastickými vlastnostmi neaktivovaných vláken a vmezeřeného vaziva. „Podle požadované intenzity, trvání a typu pohybu se může zapojit jen část vláken, pro řadu méně náročných činností se zapojuje jen zlomek motorických jednotek. Vlákna jsou složena ze 75 % z vody, z 20 % z bílkovin a 5 % hmoty tvoří sacharidy, tuky, anorganické soli a pigmenty“ (Máček & Radvanský, 2011, 3). Příčně pruhované kosterní svalstvo tvoří u žen 25 – 35 % a u mužů 40 – 45 % tělesné hmotnosti. Skládá se z velkého množství motorických jednotek – skupin svalových vláken stejného typu, inervovaných jediným motoneuronem. Funkční specializace svalových vláken je dána tím, k jakému motoneuronu jsou připojena. Počet svalových vláken inervovaných jedním motoneuronem je různý – od jednotek ve svalech okohybných až po stovky ve svalech gluteálních (Máček & Radvanský, 2011). „Svalové vlákno kosterního svalu je obrovské soubuní délky i 15 cm s průměrem desítek mikrometrů, s mnoha jádry. Je vybaveno všemi funkcemi běžných buněk s jedinou výjimkou: zralé svalové vlákno se již nemůže dále dělit mitózou“ (Máček & Radvanský, 2011, 3). Pokud se svalová buňka poškodí nebo zanikne, může být nahrazena satelitní buňkou, která se vyprofiluje v závislosti na typu nervového vlákna, které ho bude po reparaci inervovat. Satelitní buňky také mohou splynout se svalovým vláknem při procesu svalové hypertrofie (Máček & Radvanský, 2011).

2.2 Stavba svalu

Sval je funkční složkou a výkonným orgánem pohybového systému. Kosterní sval má část svalovou z příčně pruhované svaloviny, která na obou koncích přechází ve vazivové šlachy. Povrch svalu kryje pevná vazivová blána (fascie). Základní jednotkou je svalová buňka, která může dosahovat délky až 20 cm (Havlíčková, 1994). Tento údaj se v literatuře různí. Někde je udávána délka svalového vlákna shodná s délkou svalu (tedy až 40 cm), jiní autoři udávají, že vlákna jsou zapojena sériově za sebou a jejich délka je tedy kratší (15 až 20 cm).

Svalová buňka je od okolí oddělena buněčnou membránou - sarkolemou, která obklopuje sarkoplazmu. V sarkoplazmě se nachází větší množství buněčných jader, mitochondrie (sarkosomy) a stažlivé vláknité struktury - myofibrily. Jedno svalové vlákno obsahuje až několik set myofibril a každá myofibrila je rozčleněna do dlouhých úseků – sarkomer (Havlíčková, 1994). Ty jsou tvořeny pravidelně se střídajícími úseky myozinových a aktinových myofilament. Sarkomery jsou ve svalu pravidelně uspořádány a při mikroskopickém vyšetření pozorujeme charakteristické střídání světlých a tmavších pruhů. To je způsobeno vzájemně se překrývajícími aktinovými a myozinovými myofilamenty. Obě sady myofilament jsou do sebe částečně zasunuty. V místech, kde se překrývají, mohou spolu reagovat a vzájemně se proti sobě pohybovat. Tato vazba je podstatou svalové kontrakce (Enoka, 2008). Kontrakci sarkomery realizují bílkoviny myozin a aktin, pružnost sarkomery podmiňují bílkoviny titin a nebulin. Titin má mezi bílkovinami svalu nejdelší molekulu, která je zakotvena do Z a M linie sarkomery. V relaxovaném svalu zabezpečuje anatomickou kontinuitu sarkomery. Nebulin je protein s kratší molekulou než titin a nachází se v izotropním úseku sarkomery, kde stabilizuje polohu aktinových myofilament (Dylevský, 2009).

Kosterní svalovina se skládá z velkého množství svalových buněk vláknitého tvaru. Vlákna jsou vzájemně spojena řídkou vazivovou tkání ve svazky zvané snopečky. U větších svalů snopečky vytvářejí snopce. Více snopců tvoří bříško svalu a ovlivňuje svalovou sílu i rozsah

pohybu svalu (Merkunová & Orel, 2008).

Každý sval má bohaté cévní a nervové zásobení. Do svalu obvykle proniká jedna tepna a dvě žíly společně s nervem. Tepny se větví v tepénky a ty v kapiláry, které obklopují svalová vlákna a přivádějí živiny a kyslík. Žilky a žíly odvádějí zplodiny metabolismu a teplo uvolňované při svalové práci (Enoka, 2008).

Existují tři typy svalových vláken:

1. Typ I – SO (slow oxidative) - pomalá oxidační „červená“ vlákna s vysokým obsahem myoglobinu, velkou oxidační kapacitou a pomalou unavitelností. Uplatňují se především při vytrvalostních zátěžích nižší intenzity.
2. Typ II – FOG (fast oxidative glycolitic) - rychlá oxidační glykolytická vlákna se střední oxidační kapacitou, vysokou glykolytickou kapacitou, rychlou kontrakcí a středně rychlou unavitelností. Jsou objemnější, mají více myofibril a méně mitochondrií. Enzymaticky jsou vybavena k rychlým kontrakcím, prováděným velkou silou po krátkou dobu. Jsou odolná proti únavě.
3. Typ III – FG (fast glykolytic) - rychlá glykolytická vlákna s nízkou oxidační kapacitou, nejvyšší kapacitou glykolytickou, která jsou rychle kontrahující, ale rychle unavitelná. Jsou zapojena při silových a rychlostních výkonech maximální intenzity s převahou anaerobního energetického metabolismu. (Enoka, 2008)

Pomalá vlákna typu I tvoří v průměru 45 – 55 % ve svalech horních a dolních končetin. Zbytek tvoří vlákna rychlá typu II, jejichž extrémně různé subtypy lze i nadále dělit na rychlá oxidativní a rychlá glykolytická. Zastoupení pomalých a rychlých vláken má velkou genetickou variabilitu a mění se i s věkem (Máček & Radvanský, 2011).

„Všechny svaly v našem těle podléhají nepřetržité obnově sloužící jak k výměně opotřebovaných částí svalového aparátu, tak i k jejich remodelaci dle aktuálních požadavků svalu. Uvedené procesy dokážou měnit průměr, délku, sílu, cévní zásobení a z části také typ svalových

vláken. Bílkoviny kontraktilního aparátu se vymění jednou za pár až desítky dnů, během několika měsíců se tak obnoví kompletně celá molekulární struktura kontraktilního aparátu všech svalů v těle. Když není sval dlouhodoběji používán, rychlost odbourávání opotřebovaných proteinů kontraktilního aparátu je větší než rychlost resyntézy, což vede ke svalové atrofii. Naopak v případě zvýšené svalové zátěže dochází k hypertrofii“ (Kittnar, a kol., 2011, 112).

2.3 Mechanické vlastnosti svalu

Pevnost všech svalů není stejná. Pohybuje se mezi 4 až 12 kg/cm². Elastická síla, kterou je nutno při protahování svalu překonávat, má vedle statické také složku dynamickou. Ta roste s rychlostí protahování (Trojan, 1999). Svalový stah (kontrakce) a následné ochabnutí (relaxace) jsou mechanické projevy svalové činnosti. Podmínkou stahu svalu je excitace, tedy příchod vzruchu na sarkolemu, membránu svalového vlákna, který spustí uvolňování nitrobuněčných zásob Ca^{2+} (Merkunová & Orel, 2008). Signálem pro stah kosterní svaloviny je tedy nervový vzruch přiváděný motorickými vlákny na nervosvalovou ploténku svalu. Aby mohl být svalový stah zahájen, je nutná přítomnost iontů vápníku v cytoplazmě svalové buňky. Pro hladký průběh kontrakce je důležitá dostatečná zásoba energie. Jejím bezprostředním zdrojem je molekula ATP (adenozintrifosfát). Ve svalu je chemická energie přímo přeměňována na energii mechanickou a tepelnou. Sarkoplazma svalového vlákna obsahuje kromě myofibril tukové kapénky, zrníčka glykogenu, kreatinfosfát, myoglobin (červené barvivo ve svalech vážící kyslík) a jiné četné rozpuštěné látky (Merkunová & Orel, 2008).

2.4 Svalová plasticita

Adaptací na specifický typ zatěžování jsou i vyzrálé myocyty schopny takzvané svalové plasticity: mění se jejich fenotypický i metabolický profil. Při popisu vláken na molekulární úrovni se ukazuje, že zejména klasické dělení na dva typy pomalých oxidativních a rychlých glykolytických vláken představuje dva extrémní póly postupné adaptace, kterou lze značně ovlivnit typem tréninku. Dobře prozkoumány jsou především izotypy myosinu, který má tři dvojice řetězců. Dva těžké, dva základní a dva lehké, regulační řetězce (Máček & Radvanský, 2011).

Jelikož se patřičné řetězce vyskytují ve více izotypech (varietách) a páry řetězců mohou být buď stejné (homodimérní) nebo různé (heterodimérní), má svalová buňka celou škálu možností, jak adaptovat změněnou tvorbu izotypů myosinu.

Vytrvalostně zatěžované vlákno začíná syntetizovat v jiném procentuálním zastoupení izotypy těžkých řetězců myosinu a k tomu i odpovídající přenašeče iontů a metabolitů. Spolupracují přitom intenzivně se dělící satelitní buňky. Izotypy myosinu s pomalejší zkracovací rychlostí jsou pak zastoupeny více v myocytech s nižší aktivitou myosinové ATP–ázy a s nižším maximálním energetickým nárokem na stah. První změny v transkripci a translaci těžkých řetězců myosinu jsou na molekulární úrovni patrné již po několika hodinách cvičení. Klinicky relevantní změny lze cvičením dosáhnout za týdny až měsíce tréninku. Právě svalová plasticita je zřejmě příčinou dosti velké variability zastoupení jednotlivých typů vláken i mezi vrcholovými sportovci téže disciplíny. Stárnutím vzniká více heterodimerních vláken a stírají se ještě více rozdíly mezi nimi (Máček & Radvanský, 2011).

2.5 Síla svalu

Při kontrakci se sval zkrátí o 30 až 40 % své délky. Z anatomického hlediska závisí svalová síla na počtu svalových vláken, na jeho délce a na počtu aktivovaných motorických jednotek. Svalové

vlákno je silné asi jako vlas a počet vláken svalu lze určit pomocí fyziologického průřezu svalu, tedy součtem příčných průřezů všemi vlákny daného svalu. O délce svalu lze obecně říci, že čím delší je sval, tím větší sílu je schopen vyvinout. Motorická jednotka je skupina svalových vláken inervovaných jedním motorickým nervovým vláknem, tzv. alfa motoneuronem. Motorické jednotky jsou u jednotlivých svalů různě velké a ve svalu se nikdy neaktivují všechny jednotky najednou. Svalová síla je výsledkem působení elastické složky svalu a šlachy (Dylevský, 2009).

Nejde však o pouhou kontrakci vyvolanou interakcí molekul aktinu a myozinu, ale je i důsledkem napětí elastických složek svalu a šlachy. Elastická síla neroste lineárně a její přírůstek je největší při maximálním protažení svalu. Přesné určení nebo vyšetření síly svalu je velmi obtížné (Dylevský, 2009). K měření svalové síly se užívají různé typy dynamometrů, kterými se testují celé svalové skupiny. Testovat nebo cvičit jediný sval je téměř nemožné, neboť každý pohyb je výsledkem aktivity řady svalů a celých svalových skupin. Obecně je velikost svalové síly dána: velikostí fyziologického průřezu svalu, počtem zapojených motorických jednotek do činnosti a koordinovanou činností všech dalších svalů, které vytvářejí optimální podmínky pro uplatnění síly svalu (Havlíčková, 2006). Ta je vyvíjena sumou kontrakcí kontraktilních komponent a navíc pasivním odporem spojeným s protažením elastické komponenty šlachy, spojovací tkáně a sarkolemy. Jako účinné se jeví využívání kombinací sérií koncentrických a excentrických kontrakcí, a to v různých rychlostech. Ukazuje se, že o tom, zda se u excentrické kontrakce s nárůstem rychlosti zvýší i maximální excentrická síla, nebo zůstane stejná v průběhu zvyšování rychlosti, rozhoduje pohlaví, tréninkové podmínky, svalová skupina a poloha kloubu (Brown, 2000).

2.6 Svalová kontrakce

Svalová kontrakce je stav, kdy určité množství fibril aktinu a myozinu vyvíjí napětí a na úponové šlaše se projevuje síla vyvolávající pohyb. Podle současných znalostí vychází klasifikace

jednotlivých typů kontrakcí z charakteristiky vnější zátěže, směru pohybové akce a rozsahu kontrakce. Podle těchto parametrů rozlišujeme izokinetickou a izometrickou kontrakci. Izokinetické smrštění svalu je takový stah svalu, při kterém stále probíhá pohyb a mění se vzdálenost začátku a úponu svalu. Izokinetické smrštění svalu může být koncentrickým stahem, nebo excentrickým stahem. Koncentrické zkrácení svalu je typické zvětšením objemu svalového bříška a skutečným zkrácením svalu. Sval při tomto typu zkrácení vykonává pozitivní práci a svalová síla působí ve stejném směru jako pohybující se segment těla. Výsledkem koncentrického smrštění svalu je nejen pohyb prováděný stálou rychlostí, ale i akcelerace pohybu. Při excentrické kontrakci se sval prodlužuje. Svalové úpony se při tomto typu kontrakce vzdalují. Výsledkem je pohyb, který je ale převážně brzdící (decelerační). Izometrické smrštění svalu je takový stah svalu, při kterém není generován pohyb a vzdálenost začátku a úponu svalu se nemění (Dylevský, 2009).

2.6.1 Molekulární princip svalové kontrakce

V současné době je přijímána teorie posuvu filament a teorie molekulárních generátorů síly. Podle této teorie spočívá princip svalové kontrakce v klouzání těžkých myozinových vláken po aktinových filamentech (Trojan, 1999). Molekula myozinu je tvořena dvěma obtáčejícími se polypeptidovými řetězci, na jejichž koncích jsou globulární hlavy. V části krčku této molekuly je místo, které konformační změnou může naklopit hlavu vůči dlouhé části a tím vyvolat pohyb na způsob páky. Hlava je orientována proti aktinovému vláknu, což je dvoušroubovice vláknitého F-aktinu, tvořeného monomery globulárního G-aktinu. Po obou stranách dvoušroubovice se nacházejí molekuly tropomyozinu s molekulami troponinu.

Troponin obsahuje tři podjednotky: Tn-C…místo vážící kationty Ca^{2+}, Tn-T…místo, kde se troponin váže k tropomyozinu a Tn-I…místo, které zakrývá aktivní místa aktinu pro interakci s myozinem. Pro interakci filament je důležitá přítomnost kationtů Ca^{2+}, které se vylijí ze

sarkoplazmatického retikula T-tubulů na příchozí depolarizační stimul membrány. Vazba na Tn-C troponinu vyvolá konformační změnu a tropomyozin se zasune ještě více do žlábků aktinu. Tím je umožněno, aby se hlava myozinu navázala na aktivní místo a aktivovala ATP-ázu. Když se z aktomyozinového komplexu uvolní ADP, spojení se stabilizuje a vzniká tzv. rigorový komplex. Za účasti ATP se stav relaxuje (Trojan, 1999).

2.6.2 Izometrická kontrakce

Izometrická kontrakce je svalová činnost, při které se nevykonává pohyb a vzdálenost začátků od úponů svalu se nemění. Při této činnosti se nemění délka svalu, ale mění se napětí. Je běžná například u antigravitačních svalů udržujících polohu a postoj, předchází izotonickému stahu (Merkunová & Orel, 2008). Příkladem může být stálý stupeň flexe trupu, kdy zádové svaly pracují izometricky proti gravitaci, díky které by se flexe zvětšovala (Hamill & Knutzen, 2009). Při tomto typu kontrakce je produkováno takové množství příčných můstků, které stačí právě ke stabilizování segmentu. Vnější síla se právě rovná síle generované svalem, což zabraňuje svalu ve zkrácení. Dojde-li k zapojení dalších příčných můstků, kontrakce izometrická přejde v kontrakci koncentrickou (Wilmore & Costil, 2004).

2.6.3 Koncentrická kontrakce

„Při koncentrické kontrakci svaly aktivně vyvíjejí sílu a zároveň dochází ke zkracování svalu. Zatížení svalu je tedy menší než vyvíjená síla“ (Havlíčková, 1999,9). Koncentrická kontrakce vyvolává zrychlení pohybu (akceleraci), zatímco excentrická zpomalení pohybu (deceleraci). Při koncentrické kontrakci se svaly zkracují. Kosterní svaly se běžně zkracují o 30 až 50 %, některé však až o 70 % jejich délky v relaxaci. Průměrně se všechny kosterní svaly zkracují o 57 % (Hamill & Knutzen, 2009). Síla vyvinutá při koncentrické svalové činnosti je vždy menší než maximální

izometrická síla vyvinutá při optimální délce svalu. Rychlost zkrácení se zvyšuje nepřímo úměrně s velikostí odporu pohybu. Maximální rychlosti kontrakce se dosáhne, jestliže se zátěž, proti které sval provádí kontrakci, blíží nule. Rychlost kontrakce je charakteristická pro každý sval a závisí na typu svalových vláken a na architektonických charakteristikách. (Hamill & Knutzen, 2009). Při koncentrické svalové činnosti se koná mechanická práce. Když se sval zkracuje, je změna délky záporná a mechanická práce je kladná. Koncentrická kontrakce se intenzivně uplatňuje při házení, běhu a skocích. Kombinace excentrických a koncentrických kontrakcí se uplatňuje spíše při běžném pohybu.

2.6.4 Excentrická kontrakce

Při excentrické kontrakci dochází v okamžiku, kdy je zatížení svalu větší než vyvíjená síla k prodloužení svalu. Zdrojem zatížení je gravitace nebo aktivita antagonistů svalu. Excentrickou kontrakci produkují svaly také při brzdění pohybu. Podle Havlíčkové (1999) nelze excentrickou kontrakci vysvětlit klasickým modelem svalové kontrakce.

Při excentrické kontrakci se zapojují bílkoviny titin a desmin. Propojení mezi Z-liniemi umožňuje vláknitý titin. Ten se protahuje a zkracuje v místech, kde není fixován na myozinová filamenta a tím je vyvíjena tenze na Z-linie a sarkomera se prodlužuje.

Kosterní sval není schopen se sám od sebe protáhnout. Příčinou protažení svalu při excentrické kontrakci je jiný sval (antagonista) nebo nějaká vnější síla. Práce a výkon jsou při excentrické kontrakci negativní. To znamená, že svaly energii absorbují. Vnější energie, která způsobí protažení elastických elementů, se ukládá ve svalech ve formě deformační energie. Ta může být využita při následném zkrácení svalu. Možnost využití elastické energie je ovlivněna velikostí a rychlostí prodloužení svalu. U excentrické svalové činnosti je vztah mezi silou a rychlostí opačný než u činnosti koncentrické. Rychlost protahování svalu je menší v prvních fázích, kdy zátěž jen o něco

překračuje izometrické maximum. Rychlost excentrické kontrakce se pak zvyšuje se vzrůstající zátěží. Excentrická svalová činnost tedy může být vyvolána antagonisty, nebo nějakou jinou vnější silou a tíhovou silou. Čím větší jsou tyto síly, tím více se zvyšuje rychlost excentrické kontrakce. S rychlostí prodlužování svalu při excentrické kontrakci roste i napětí (Havlíčková, 1999).

3 EXCENTRICKÁ SVALOVÁ KONTRAKCE

Z kineziologického hlediska charakterizujeme excentrickou kontrakci jako brzdný pohyb ve směru působení gravitace. Klíčový význam na průběh pohybu mají antagonistické skupiny svalů (Havlíčková, 1999). Maximální síla svalové kontrakce závisí na schopnosti zapojit ve stejný okamžik co nejvíce vláken stejné svalové skupiny při současné relaxaci antagonistů. Při této činnosti se uplatňuje motivace, koordinace, trénink a pohybová zkušenost. Síla kontrakce dále závisí na ploše příčného průřezu svalu, na postavení kloubu a dalších biomechanických faktorech. Průměrná síla svalu v populaci je u stejných svalových skupin zhruba stejná, rozdíly jsou dány tréninkem a geneticky (genetický vliv je mnohem větší než se dříve předpokládalo). U žen je svalová síla nižší asi o 20 – 30 %, se stoupajícím věkem klesá a v 60 letech věku je asi o 20 % nižší než v době největší síly. Tento pokles je větší u svalů trupu a dolních končetin. Fázické svaly si zachovávají svou sílu déle. Při kontinuální svalové kontrakci větší silou se sval brzy vyčerpá. Čím je kontrakční síla menší, tím déle může kontrakce trvat. Takové práci jsou přizpůsobeny posturální svaly, které udržují vzpřímenou pozici těla. Mají mnohem více červených svalových vláken a víc vláken inervovaných jedním motoneuronem. Silnější kontrakce vede k rychlejší svalové únavě. Příčinou tohoto omezení je zvýšení nitrosvalového tlaku. Tím dojde ke stisknutí krevních cév a omezení průtoku krve. Červená vlákna jsou pak odkázána na rezervy kyslíku v myoglobinu, stoupá význam anaerobní glykolýzy. Omezení přívodu kyslíku, energetických látek a současně hromadění odpadových metabolitů vyvolá vyčerpání i bolest v kontrahovaném svalu. I krátká přestávka podstatně zlepší místní oběhové podmínky a zvýší podíl aerobního metabolizmu (Máček & Radvanský, 2011).

3.1 Historický pohled na excentrickou kontrakci

Poprvé byl termín „excentric“ pro kontrakci, při které dochází zároveň k prodlužování svalu,

zaveden Erlingem Asmussenem v roce 1953, a to pro pohyb od středu. Dnešní anglický termín „eccentric“ byl zaveden později. První zmínky o excentrické kontrakci ve fyziologických studiích jsou však už z roku 1882, kde Adolf Fick objevil, že sval je při prodlužování schopen vykonat větší sílu než při koncentrické kontrakci (Lindsted, LaStayo, & Reich, 2001). A. V. Hill později zjistil, že při excentrické kontrakci má sval menší energetické nároky než u koncentrické a izometrické kontrakce. Tento rozdíl lze podle Hilla připsat dvěma faktorům: množství kalcia uvolňovaného sarkoplazmatickým retikulem a mechanické činnosti svalu. Hill popisuje funkci svalu v brzdném a hnacím režimu. Z ní je možné odvodit aktuální mechanický výkon produkovaný svalem v závislosti na vnější zátěži a aktivním stavu svalu. Při zvýšení stimulace se zvyšuje izometrická síla, ale maximální rychlost kontrakce zůstává stejná. S přibývající schopností konat velmi rychlou kontrakci klesá schopnost přenášet vyšší silové zatížení. Maximální výkon je dosažen při zatížení svalu třetinovou silou, než je síla odpovídající maximální izometrické kontrakci při daném stupni stimulace (Enoka, 2008).

Abbott et al. v roce 1952 ve své studii o excentrické kontrakci dokazují funkční souvislosti prostřednictvím bicyklového ergometru s jedním řetězem. Slabší cyklista, vytvářející brzdnou sílu, šlapající proti silnějšímu cyklistovi, který šlape směrem vpřed, je schopen vyvinout větší sílu. Tato studie je v odborné literatuře označována jako první moderní studie o excentrické kontrakci (Abbott, Bigland & Ritchie, 1952).

3.2 Neurofyziologický pohled na kontrakci

Z neurofyziologického pohledu je mohutnost proprioreceptivní aferentace z příslušných svalů v průběhu excentrické kontrakce vyšší než u koncentrické, protože jsou nadprahově podrážděna jak vřeténka (sval se prodlužuje), tak Golgiho tělíska (sval vyvíjí tenzi a stoupá napětí na rozhraní svalové a šlachové části). Při koncentrické kontrakci se neudržuje zvýšená aferentace z obou typů

receptorů po celou dobu kontrakce. Mohutnější aferentace vede ke snížení prahu dráždivosti alfa motoneuronů. Proto také některé studie uvádějí, že excentrická kontrakce je kontrakcí s nejmohutnějším náborem motorických jednotek (Havlíčková, 1999). Excentrická kontrakce je také méně energeticky náročná. Podle Havlíčkové je příčinou větší role vazivové složky svalu. Při protažení dochází k akumulaci energie do elastických struktur. Silová a pracovní schopnost excentrické kontrakce je větší než u kontrakce koncentrické (Havlíčková, 1999).

3.3 Adaptační změny svalu v důsledku excentrické kontrakce

Pokud je sval do jednoho týdne od prvního cvičení vystaven další excentrické zátěži, dochází k adaptaci. Vlastnost svalu přizpůsobit se excentrické zátěži, aby se zabránilo jeho poškození, má velký význam pro klinickou praxi. Změny ve svalu, které způsobují adaptaci, nejsou dosud přesně známé. Předpokládá se, že se sval adaptuje změnou své klidové délky. Dochází ke zvýšení počtu sarkomer v sérii a sval je schopen se více prodloužit (Proske & Morgan, 2001). La Stayo et al. (2003) udává, že dalším adaptačním mechanismem může být zánik křehčích a citlivějších vláken svalu ve prospěch těch silnějších. Při další zátěži již sval obsahuje pouze silná vlákna a k mikrotraumatům již tolik nedochází. Chronická excentrická zátěž způsobuje větší pevnost svalového vlákna, což má význam při protahování svalu, kdy může dojít k poškození při nadměrném tahu (La Stayo et al., 2003).

3.3.1 Vliv na šlachu

Dochází-li k brždění pohybu, působí na přechod sval-šlacha značná síla. Může dojít i k poškození svalu, je-li tato síla větší, než jakou dokáže sval sám vytvořit. Zároveň pak dochází také k poškození šlachy nebo připojení svalu ke kosti. Pokud je tato síla větší než jakou dokáže sval sám vytvořit, může dojít k poškození svalu, šlachy nebo připojení svalu ke kosti. Při pravidelném

excentrickém cvičení dochází k adaptaci svalu i šlachy. Adaptace na excentrickou zátěž je využívána při léčbě tendinopatií. Podle některých studií se předpokládá, že buňky šlach jsou stimulovány excentrickým cvičením k větší fibroblastické aktivitě, což způsobí zvýšenou tvorbu kolagenu. Fibroblast je základní buňka vazivové tkáně. U člověka je rozptýlená v různých částech těla. Produkuje do okolí mimobuněčnou hmotu a vlákna. Mívá hvězdicovitý tvar, buněčné jádro, endoplazmatické retikulum, Golgiho aparát a mitochondrie. Účastní se hojení rány v místě, kde je poraněna pokožka. Hlavní funkcí fibroblastů je produkce kolagenu. Pomocí silných aktinových vláken k sobě stahují poškozené tkáně. Šlacha, která je pravidelně excentricky protahována se stává pevnější v tahu (La Stayo et al., 2003).

4 MOŽNOSTI VYUŽITÍ EXCENTRICKÝCH CVIČENÍ VE FYZIOTERAPII

Výhody a účelnost excentrických cvičení byly prokázány již v minulosti a úspěšně se využívají více než sedmdesát let. Tradičně se excentrické cvičení používá jako pravidelná součást silového tréninku. V posledních letech se však excentrické cvičení využívá i v rehabilitaci. Byla zpracována řada studií, dokazující účelnost excentrického cvičení pro rehabilitace tendinopatií, svalového přetížení a plastiky předního zkříženého vazu kolene (ACL). Posledních 15 let je používání excentrických cvičení při rehabilitaci v centru pozornosti odborné literatury (Lorenz & Reiman, 2011).

4.1 Fyziologie excentrických cvičení

Během volní kontrakce svalu jsou rychlost kontrakce a schopnost vykonávat napětí nepřímo úměrné. Čím rychleji se sval smršťí koncentricky, tím nižší napětí je schopen generovat. Napětí svalových vláken při prodloužení je podstatně větší než když se svalová vlákna zkracují při záporné práci. Spotřeba kyslíku jen málokdy vzroste více než dvakrát oproti klidové hodnotě. Předchozí studie ukázaly, že když sval pracuje excentricky, spotřeba energie ve srovnání s koncentrickou kontrakcí klesá, protože spotřeba ATP a produkce tepla se zpomalí (Lorenz & Reiman, 2011). Bigland-Ritchie et al. (1976) uvádí, že k zachování stejné síly při negativní svalové práci je potřeba méně svalové aktivity. K vyvinutí dané svalové síly je u excentrické kontrakce potřeba méně svalových vláken a dochází k výraznému snížení spotřeby kyslíku. Kromě toho při rostoucí produkci tepla během pozitivní práce se souběžně zvyšuje buněčný metabolismus. Tvoří se tak více odpadních produktů, což může vést k chemickému podráždění nervu a nakonec ke vzniku bolesti.

4.2 Posouzení vlivu excentrických cvičení na pohybový aparát

Jestliže se lidské tělo pohybuje běžným způsobem, svaly produkují pozitivní i negativní práci téměř ve stejné míře. Při excentrické kontrakci absorbuje prodlužující se sval a šlacha mechanickou energii, pokud není tato energie okamžitě využita pro opačnou (koncentrickou) kontrakci, stane se z ní teplo (Lindstedt, 2001). Sval produkuje větší sílu, protože dochází ke kumulaci energie a ta je přidána k následnému pohybu. Tento cyklus zlepšuje efektivitu svalové práce. Výzkumy ukazují, že takový sval produkuje až o 50 % větší sílu (Hamil & Knutzen, 2009).

4.3 Možnosti využití excentrické kontrakce v terapii vybraných diagnóz

Gerber et al. (2009) zjistili, že pacienti provádějící dvanácti týdenní excentrický tréninkový program, se kterým začali tři týdny po operaci předního zkříženého vazu, měli větší nárůst objemu svalů m. quadriceps femoris a m. gluteus maximus a vykazovali také celkové funkční zlepšení oproti pacientům, kteří po stejnou dobu praktikovali standardní rehabilitaci, založenou na silovém cvičení a funkčním tréninku. Bylo prokázáno 50 % zvětšení objemu svalů u čtyřhlavého m. femoris a m. gluteus maximus. Navíc se také významně zlepšila celková funkce kolenního kloubu u skupiny využívající excentrického cvičení než u skupiny standardně rehabilitující (Gerber et al., 2009). Účinky excentrického cvičení na obnovení funkce předního zkříženého vazu po operaci kolene zkoumali v jiné studii také Tyler et al. (2010). Pacienti, kteří podstoupili operaci, byli rozděleni do dvou skupin. Pomocí magnetické rezonance byly získány snímky, které ukazovaly stav pacientů tři týdny po operaci. Tyto snímky pak byly porovnány se snímky, pořízenými po patnácti týdenní rehabilitaci. Skupina pacientů rehabilitující pomocí excentrického cvičení měla ve srovnání se standardně rehabilitujícími pacienty významně lepší výsledky. Zavedení excentrického cvičení do rehabilitačního plánu pacientů po operaci předního zkříženého vazu tedy znamenalo v poměrně krátké době zlepšení pohyblivosti a funkčnosti kloubu a vedlo i k nárůstu objemu svalů.

Cílem studie Institutu pro sportovní medicínu v New Yorku bylo zhodnotit účinnost excentrických cviků na extensory zápěstí. Tato cvičení byla přidána ke standardní léčbě chronického postižení laterálního epikondilu. 21 pacientů s chronickou jednostrannou epikondylitidou bylo zařazeno do excentrického tréninku. Jedna skupina (n = 11, 6 mužů, 5 žen; průměrný věk 47,2) absolvovala pouze standardní léčbu, druhá skupina (n = 10, 4 muži, 6 žen; průměrný věk 51,4) měla standardní léčbu doplněnou o excentrický trénink. Všechny výsledky při léčbě chronické laterální epicondylitidy se výrazně zlepšily přidáním excentrického cvičení ke standardní terapii. Excentrické cvičení bylo původně prováděné v laboratoři pomocí dynamometru, který je sice při léčbě chronického postižení laterálního epikondilu účinný, nicméně izokinetické dynamometry nejsou běžně k dispozici a pro každodenní cvičení jsou nepraktické. Pacienti tyto cviky prováděli pomocí gumové tyče „Flexbar“, aby mohli cvičit i doma. Bylo prokázáno, že přidání excentrického cvičení je při léčbě efektivní (Tyler et al., 2010). Společným činitelem v excentrickém cvičebním programu používaným v těchto studiích bylo, že cvičení mohlo být prováděno doma bez nutnosti pravidelných návštěv fyzioterapeuta (Obrázek 2).

4.3.1 Entezopatie

Entezopatie představují zánětlivé změny v tendoperiostálním spojení. Vyskytují se jako primární léze, jejímž příkladem jsou tenisový loket, patní ostruhy, exostózy na patelách nebo jako léze sekundární v rámci zánětlivých revmatických onemocnění. Entezopatie se klinicky projevuje bolestí, zduřením, začervenáním a ztrátou funkce. Bolest je vyvolána jak palpací úponu, tak pohybem a také velmi lehkým zapínáním postiženého svalu (Trnavský, 1993). K entezopatiím řadíme tenisový loket (epicondylitis humeri radialis), golfový loket (epikondylitis humeri ulnaris), enthesopathia retrocalcanea (tendo Achilles) a enthesopathia subcalcanea (aponeurosis plantae). Onemocnění šlachových úponů na zevní straně pažní kosti popsal poprvé v roce 1873 ortoped

F. Runge jako „křeč písařů“. O devět let později použil jeho kolega Morris poprvé označení „tenisový loket“. Vyjadřoval jím nejčastější příčinu vzniku postižení, kterým bylo jednostranné zatížení při nesprávně prováděném backhandu. Langberg et al. (2005) se ve své studii zabývali výsledky excentrického cvičení u fotbalistů s postižením Achillovy šlachy. 12 fotbalistů (kontrolní skupinu tvořilo 6 zdravých, 6 mělo postižení Achillovy šlachy) bylo zařazeno do speciálního tréningového programu v průběhu 12 týdnů. Výsledky studie potvrdily efektivitu tohoto typu léčby. Bylo prokázáno, že excentrické cvičení vede ke stimulaci syntézy kolagenu typu I v poškozené šlaše. Zvýšené množství kolagenu typu I se objevilo pouze u osob postižených entezopatíi Achillovy šlachy. Autoři předpokládají, že u zdravých šlach, u kterých není narušena homeostáza a kolagenu je dostatek, se tělo nemusí adaptovat na zátěž dalším zvýšením jeho tvorby. Homeostáza poškozených šlach, ale narušena je, a proto v rámcí adaptace dochází k vetší tvorbě kolagenu stimulací fibroblastů. Proto nedošlo u zdravých fotbalistů ke zvýšené tvorbě kolagenu 1. Takto adaptovaná šlacha je odolnější na zátěž a méně bolestivá (Langberg et al., 2005).

4.3.2 Tendopatie

V řadě studií bylo prokázáno, že excentrické cvičení je efektivní při léčbě tendopatií (Lorenz, 2011). S pohybovou léčbou u tendopatií se začíná tehdy, jestliže pohyb nevyvolává bolest. Tendopatie provází bolest, ztuhlost, snížený rozsah pohybu, svalová slabost a následná atrofie. Při rehabilitaci se zpravidla začíná pasivním pohybem a protahovacími cviky, které mají za úkol zvětšit rozsah pohybu v kloubu. Pokračuje se jednoduchými a přiměřenými cviky na zvýšení síly svalů a zvýšení adaptace svalů na zátěž. Zpočátku by cviky měly být prováděny s menším odporem, ale měly by mít větší počet opakování. Léčbou tendinopatií se už od roku 1986 zabývá Stanish et al., který navrhuje využití excentrických cvičení v terapii tendopatií. Vycházeli z poznatků, že excentrickým cvičením lze zvýšit mechanickou pevnost šlachy (Stanish et al., 2007).

4.3.3 Tendopatie Achillovy šlachy

Řada autorů poukazuje na nejednoznačnost při označení zánětu Achillovy šlachy. Některými je toto poranění řazeno mezi entezopatie, jiní dávají přednost označení tendopatie, což znamená obecnější vyjádření pro dysfunkci v této oblasti. Hlavním problémem je, že při této dysfunkci nejde o běžný zánět, protože zejména u chronických případů probíhá bez známek zánětu buněčného. Pozitivním účinkem excentrického cvičení při chronické tendopatii Achillovy šlachy se zabývala řada autorů. V roce 1998 provedl Alfredson studii, do které byly zapojeny dvě skupiny atletů s tímto poraněním. V první skupině bylo 15 atletů, kteří se věnovali speciálnímu excentrickému cvičení. Kontrolní skupině sportovců byly aplikovány pouze: pohybový klid, protizánětlivé léky a vložky do bot. Excentrické cvičení prováděli atleti z první skupiny po 12 týdnů pravidelně dvakrát denně ve třech sériích po patnácti opakováních. Všichni pacienti této skupiny dosáhli stejné úrovně pohybové aktivity, jakou měli před zraněním. U kontrolní skupiny nedošlo téměř k žádnému zlepšení zdravotního stavu (Lorenz, 2011).

4.4 Srovnání vlivu koncentrického a excentrického cvičení při rehabilitaci tendopatií

Mafi at al. (2000) se zabývali rozdílnou efektivitou excentrického a koncentrického cvičení při léčbě tendinopatie Achillovy šlachy. V excentrickém tréninkovém režimu pacienti cvičili dvakrát denně po dobu 12 týdnů. Cvičenci byli informováni o svalové bolesti a únavě, která se může objevit během čtrnácti dnů. V dalších dnech jim byla přidávána zátěž ve formě závaží – batoh na zádech.

Koncentrický tréninkový režim četností odpovídal excentrickému. Cviky v koncentrickém režimu však byly po několika týdnech obměňovány. Před léčbou trpěli sledovaní pacienti bolestmi šlachy při chůzi a běhu. 82 % pacientů léčených excentrickým cvičením bylo po ukončení studie bez bolesti, oproti 36 % pacientů, kteří byli léčeni pouze koncentricky. Skupina léčená excentricky dosáhla lepších výsledků. To autoři zdůvodňují zvýšením excentrické síly a adaptací svalu na tah.

Do studie byli zapojeni i nesportující pacienti (19 ze 43). Ve volném čase nesportovali, jejich pohybovou aktivitu tvořila především chůze. Lze tedy vyvodit závěr, že i chůze je u osob se sedavým stylem života dostatečná aktivita onemocnění entezopatií Achillovy šlachy (Mafi, Lorentzon, & Alfredson, 2000).

4.5 Agisticko-excentrické kontrakční postupy

Funkční poruchy vyvolávají nesoulad v celém pohybovém systému a vedou k jeho iracionálnímu využívání. Při aplikaci terapeutických postupů jde o to, aby se upravila chybná zatížení pohybového systému a aby se dosáhlo eumetrie pohybu (Rock & Petak-Kreuger, 2000). Excentrickými kontrakčními postupy lze odstranit bolestivá svalová napětí. Agistické svalové skupiny jsou aktivovány povelem k pohybu. Za neurofyziologických podmínek pracují agistické svalové skupiny koncentricky a jejich činnost vede, v souladu s principem recipročního útlumu, k prohloubení relaxace antagonistických skupin a tím ovlivnění reflexních změn v těchto svalech. Excentrické pohyby jsou brzděné a vedené pohyby. Při této technice dochází k recipročnímu útlumu hypertonických svalových vláken při aktivitě vláken antagonistických. Antagonista pracuje v excentrickém režimu a současně recipročně vyvolá inhibici a mechanické povolení svalu agonistického. Dochází k normalizaci funkční synergie agonistů a antagonistů dekontrakcí hyperaktivních vláken (Rock & Petak-Kreuger, 2000).

4.6 Brügger koncept

A1ois Brügger prokázal, že svalové napětí lze odstranit účinnou fyziologickou neinvazivní cestou a že zvláště excentrickou kontrakcí dochází k recipročnímu útlumu svalů se zvýšeným napětím a tím k ovlivnění reflexních změn. Při klinických pozorováních odhalil degenerativní změny bez doprovodných bolestí, ale i bolest bez prokazatelného postižení kloubů nebo obratlů.

Bolest tedy může být funkčně podmíněna. Podle Brüggera se přičítá většina onemocnění pohybového systému centrálně nervovým organizovaným ochranným mechanizmům mozku. Brügger prosazuje globální přístup k terapii. Prostřednictvím cílených pohybů se zasahuje přímo do průběhu pohybových programů. Cílem této metody je přeprogramování pohybových vzorců, jejich uložení do podvědomí, návrat ke správnému držení těla s optimalizací zátěže pohybového aparátu a také odstranění bolesti (Rock & Petak-Kreuger, 2000).

5 VYUŽITÍ EXCENTRICKÉ KONTRAKCE VE SPORTU

V posledních letech je v centru pozornosti odborné literatury využití excentrického cvičení jako možného způsobu trénování. Svaly a šlachy se mohou chovat velmi podobně jako pružina. Jejich pružná komponenta může energii z protažení okamžitě využít při další kontrakci. I když se celková délka svalu a šlachy nemění, některá svalová vlákna se zkracují, což znamená, že šlacha se protahuje a energie se ukládá. Pokud k dalšímu stahu nedojde dostatečně rychle, uchovaná energie se změní v teplo, a nelze ji již dále využít k pohybu. Například když se při běhu noha dotkne podložky, dojde k protažení Achillovy šlachy. Uloží se v ní určité množství energie, která je následně uvolněna, aby poskytla hnací sílu, když se noha opět odrazí od podložky. Využití energie je možné jak u excentrické tak i izometrické kontrakce. Tohoto jevu využívá lidské tělo zejména při plyometrickém cyklu kontrakcí. (Lorenz & Reiman, 2011)

5.1 Plyometrie

> Jako plyometrický režim pohybu se označuje cyklicky koordinovaná alternující souhra koncentrických a excentrických stahů antagonistických svalových skupin (zpravidla větších celků, například celých končetin), kde se navíc kromě této aktivity svalové účastní i pasivní elastické vlastnosti měkkých tkání, kterých je využito pro ekonomizaci pohybu (příkladem je souhra flexorů a extenzorů dolních končetin při poskocích, kdy dopady jsou odpruženy excentrickou brzdnou prací extenzorů při současném pasivním protažení jejich vazivových struktur, což představuje akumulaci energie pro usnadnění následujícího výskoku aktivním koncentrickým stahem těchto svalů– to vše za stabilizující ko-kontrakce flexorových skupin) (Dvořák, 2007, 43).

Plyometrickým tréninkem se dosahuje maximální hybné síly za nejkratší čas. Efekt se označuje jako výbušnost, výbušný výkon. Vede také ke zlepšení funkce nervosvalového systému a rozvoji

dynamické síly, která je rozhodující ve většině sportovních odvětví, jako jsou: sprint, skok daleký, skok vysoký, hokej, fotbal, basketbal, volejbal a podobně. Jeho výhodou je, že může být přizpůsobený na míru sportovci se specifickým zaměřením.

5.2 Využití excentrické kontrakce v atletice

Plyometrická cvičení jsou efektivním způsobem tréninku excentricko-koncentrického cyklu specifických svalových skupin využívaných při běhu. Důraz je zaměřen zejména na rychlou změnu mezi těmito dvěma způsoby svalové aktivity u flexorů kyčle, gluteálních svalů a hamstringů (Lorenz & Reiman, 2011). Nutností je důraz na správnost technického provádění cvičení a nácvik techniky běhu. Při dokončení letové fáze v průběhu sprinterského běhu dochází nejčastěji ke zranění. V tréninku je proto vhodné zařadit cvičení s excentrickým brzděním velmi vysoké úhlové rychlosti s vyvinutím maximální síly přibližně při 30° flexi kolene. Zdůraznění excentrické aktivity má určitý efekt na zvýšení poddajnosti svalů a současný rozvoj svalové síly. Trénink rychlosti a vše, co s tím souvisí, vede k adaptaci muskuloskeletárního systému na zátěž a minimalizuje riziko zranění, které by mohlo být následkem nedostatečné neuromuskulární a metabolické adaptace (Hnátová, Pavlů, & Kaplan, 2009).

Bolest, která vzniká při tréninku je významným faktorem, běžným pro začátečníky, kteří nemají zkušenosti s excentrickou aktivitou. Adaptace na tuto formu zátěže nastane v případě pravidelného opakování excentrických cvičení a postupném zvyšování jejich frekvence zejména v přípravném období. Postupně je zvyšována zátěž a rychlost prováděného pohybu (Brukner & Khan, 2007).

Zranění hamstringů se při běhu stávají během excentrické aktivity, kdy svaly vyvíjejí značné napětí během jejich prodlužování. Excentricky působící síly se podstatně zvyšují s nárůstem rychlosti běhu. Proto by mělo být paradoxně použito role svalového komplexu jako systému absorbujícího energii pro další využití jako prevence vzniku tohoto zranění. Specifická excentrická

aktivita zdůrazňující trénink flexe kolena může mít velký význam v prevenci zranění (Schmitt, Tyler, & McHugh, 2012). Progresivní běžecký program a jeho časné zahájení je důležitou částí terapeutického programu. Mezi základní principy běhu patří správné načasování zátěže. Tento program začíná již po 48 hodinách od vzniku zranění. Každý den je zařazen dvacetiminutový běh, kterému předchází mírný strečink hamstringů, následuje jogging s krátkými kroky. Pacient je postupně instruován k prodloužení délky kroku a tempa v závislosti na bolesti. Ta nesmí být během celého programu přítomna. Pokud dojde k rozvoji bolesti hamstringů, musí být trénink okamžitě ukončen, měl by být aplikován led. Zakončení programu by mělo obsahovat desetiminutový mírný strečink hamstringů a aplikaci ledu na zraněné místo po dobu 10 minut (Brukner & Khan, 2007).

5.2.1 Excentrická cvičení jako prevence zranění hamstringů

Jako prevence zranění hamstringů se doporučuje nácvik běžeckých dovedností a plyometrická cvičení, která jsou efektivním způsobem tréninku excentricko-koncentrického cyklu.

Iga et al. (2012) se zabývali účinností excentrického cvičení na skupině 18 profesionálních fotbalistů, kteří do tréninku zařadili „nordic hamstring“ cvičení (specifické cvičení zpracované Brockettem a Mjolnesem, zdůrazňující efekt excentrické aktivity na zvýšení poddajnosti svalů a současný rozvoj svalové síly). Byla to první studie, která systematicky popsala aktivaci hamstringů během tohoto cvičení. Účastníci studie měli menší incidenci zranění hamstringů než hráči kontrolní skupiny, kteří zvolili pouze protahovací a posilovací trénink. Studie prokázala, že excentrická aktivita má pozitivní efekt na zvýšení poddajnosti svalů a současný rozvoj svalové síly. Cvičení „nordic hamstring“ je vhodné pravidelně zařazovat do tréninkového procesu. Bolest vzniklá při tréninku je faktorem, běžným pro začátečníky, kteří nemají zkušenosti s excentrickou aktivitou. Adaptace na tuto formu zátěže nastane v případě pravidelného opakování cvičení a postupném zvyšování jeho frekvence (Obrázek 1).

5.3 Využití excentrických cvičení ve volejbale

Moderní mužský a ženský volejbal představuje dynamický soubor pohybů. Vyžaduje koordinaci a zvládnutí náročných herních činností s důrazem na taktické myšlení a sehranost celého kolektivu. Volejbal rozvíjí rovnoměrně všechny pohybové schopnosti, především rychlost spojenou s obratností a vytrvalostí, rychlou sílu dolních a horních končetin a trupu. Během utkání i v tréninkovém procesu dochází k opakovaným činnostem, jakými jsou běh (přímočarý i se změnami směru), výskok, otáčení, odbíjení apod. Současný vrcholový volejbal se vyznačuje rychlými výměnami a většina energie je pokryta anaerobní cestou. V dnešním profesionálním volejbale jsou hráči specializováni na určitý post. Zatížení je proto velice jednostranné a nevyvážené. Z tohoto důvodu dochází k přetěžování určitých svalových skupin a následně vzniku různých svalových dysbalancí. Dolní končetiny jsou asi nejvíce zatěžovanou částí pohybové aparátu. Síla a dynamika svalů dolních končetin se uplatňuje u všech základních prvků hry, nejčastěji při výskocích na smeč, blok a podání. Při dopadu jsou enormně zatěžovány klouby dolních končetin. Výskoky a následné dopady nepříznivě ovlivňují oblast páteře, především bederní. Ramenní kloub je také enormně přetěžován. Často se vyskytují také problémy s Achillovou šlachou. Vzhledem k vysoké variabilitě využívaných pohybových schopností i dovedností je nezbytné (z hlediska prevence akutních i chronických poranění) připravit muskuloskeletární systém na takovou úroveň, v níž budou minimalizována možná zdravotní rizika. Jako jeden z efektivních prostředků silové přípravy se jeví využití excentrického cvičení. Cviky využitelné v silové přípravě anebo pro navrácení volejbalistů po úrazu zpět do tréninkového procesu, jsou popsány v kapitole 11. 4 (Obrázky číslo 3 - 6 v příloze).

6 NEGATIVNÍ DOPAD EXCENTRICKÉHO CVIČENÍ

Při jednorázovém excentrickém cvičení, nebo pokud intenzita či objem excentrického cvičení náhle vzrůstá, dochází často k nástupu bolesti. Podle Proskeho a Morgana (2001) není bolest pociťována ihned po zátěži, ale přichází až za několik hodin. Svaly jsou ztuhlé a bolestivé následujících pár dní. Dochází k poškození svalu a často se objevují i známky zánětu. Obecně se udávají dva způsoby poškození svalu ihned po excentrickém cvičení: jedním z nich je narušení sarkomer v myofibrilách a druhým poškození excitačně kontrakčního převodního systému. Stále je předmětem sporu, který z těchto dvou způsobů svalového poškození převládá. Na poškozování svalu se mohou podílet pružná vlákna titinu, který kotví svá tlustá vlákna do Z disku nebo strukturální bílkovina desmin, která spojuje přilehlé Z disky. Je také možné, že z důvodu malých chyb v uspořádání mohou být silná a tenká vlákna přetížených sarkomer přeházené vůči sobě navzájem. Příčinou může být také inaktivace některých sarkomer z důvodu poškození T-tubulu. Stejně jako pro poškození svalových vláken jsou důkazy o poškození smyslových orgánů svalu. Opakované excentrické cvičení vede k adaptaci svalových vláken na tento druh cvičení a tím také k menšímu poškození svalu. K adaptaci dochází v případě, že sval je vystaven další excentrické zátěži ještě před koncem úplné regenerace svalu (Proske & Morgan, 2001). Během excentrické kontrakce může dojít ke zranění ve smyslu natažení svalů. Pokud se svalová vlákna prodlouží za hranice svých možností, dochází k přetržení některých vláken, zřídka ke kompletní ruptuře svalu. Vzniká bolest, krevní sraženina po natržení okolních cév, otok a porucha funkce. Svalová tkáň po takovém poškození nepatří mezi tkáně, které dobře a rychle regenerují. Při regeneraci poškozeného svalu nejprve dochází k tvorbě svalových pupenů ze satelitních rezervních buněk. Při velkém poškození je růst těchto buněk potlačený vazivovou tkání. Svalové poškození se pak vyléčí méně pružnou vazivovou jizvou (Proske & Morgan, 2001).

Věkem dochází ke zmnožení tuku mezi svalovými vlákny, atrofii svalových vláken a ke ztrátě

pružnosti svalu. K nevratným změnám ve svalu dochází po protažení o 40 – 50 % klidové délky. Přetržení svalu nastává až po změně klidové délky svalu na 1,5 až dvojnásobek. Pevnost maximálně kontrahovaného svalu je rozdílná pro různé svaly, přibližná hodnota se pohybuje kolem 1,25 MPa (Bernacíková a kol., 2013).

Poškození svalu po excentrické kontrakci bylo zkoumáno u lidí i u hlodavců. Ihned po kontrakci byla provedena chemická analýza pomocí světelné mikroskopie. Při této zkoušce bylo patrné pouze malé poškození svalů. Druhá analýza pomocí mikroskopického vyšetření již jasně ukázala narušení aktinových a myozinových myofilament sarkomery. Toto menší svalové poškození vláken je výsledkem síly vyvinuté při excentrické kontrakci. Podle Proskeho a Morgana (2001) následný adaptační proces zahrnuje zvýšení počtu sarkomer v sériích ve svalových vláknech. Průměrná délka sarkomer je kratší, menší pracovní rozsah svalu zahrnuje oblast potenciální nestability. Důkazy pocházejí z pokusů, ve kterých potkani běhali po nakloněné rovině. Zkoumali se vlákna svalu vastus intermedius o kterém se ví, že podstupuje excentrickou kontrakci při běhu z kopce. Po týdnu cvičení bylo zjištěno, že střední hodnota sarkomer byla v průměru o 11 % vyšší ve svalech zvířat, která běhala z kopce, než u zvířat běhajících do kopce. Není ještě zcela prozkoumán časový průběh adaptačního mechanismu, zahrnujícího přidání dalších sarkomer do svalových vláken. Jestliže by docházelo k remodelaci svalového vlákna poškozeného excentrickou kontrakcí, musel by tento proces být dostatečně rychlý, aby byl v podstatě dokončen do týdne od vzniku poranění. Schopnost rychlé adaptace na úrovni sarkomer byla prokázána v roce 1973, kdy byly pomocí dlahy imobilizovány svaly zafixováním v protažení. To vedlo do pěti dnů k nárůstu počtu sarkomer ve svalových vláknech. Tento nárůst byl v krátké době reverzibilní (Proske & Morgan, 2001).

Relativně malý objem škod narůstá při cvičení během následujících dní. Zároveň však dochází k adaptaci svalu. Adaptace nastává na strukturální i buněčné úrovni a zahrnuje změny v transkripci

řady ochranných proteinů (Graeme et al., 2005).

Pro urychlení regenerace svalů zatížených excentrickou kontrakcí je vhodné bezprostředně po zátěži aplikovat chladové procedury. Tělo reaguje na delší působení chladu dilatací kapilár, což způsobí mnohem déle trvající hyperémii, než která nastává po aplikaci tepla. Navíc při snížení teploty kůže dochází k utlumení nociceptorů a tím ke snížení vnímání bolesti.

6.1 Rizika poškození tkáně

Lze se vyvarovat poškození svalové tkáně při excentrickém cvičení? Touto problematikou se zabývá také Malachy et al. (2000). Konstatují, že většinou se sportovci s poškozením svalové tkáně potýkají na začátku sezóny nebo po delším tréninkovém výpadku. Jako typický příklad je zde uvedeno poškození čtyřhlavého svalu stehenního při běhu z kopce. Experimentální studie prokázaly, že náchylnost ke svalovému poškození není u všech sledovaných subjektů stejná. Někteří jedinci jsou k poškození svalu náchylnější. Účastníci studie byli rozděleni do tří skupin podle kvality jejich svalů: „tuhé“, „normální“ a „poddajné“. Kritériem byla míra pružnosti svalu v klidové poloze. Po absolvování excentrického cvičení pociťovali jedinci z první skupiny (tuhé svalstvo), významně větší ztrátu síly, větší bolest a napětí svalů než jedinci s poddajnými svaly. Projevilo se u nich také zvýšení kreatinkinázy a plazmatické aktivity. Větší poškození svalové tkáně bylo přičítáno neschopnosti šlachy a tuhých svalů absorbovat uloženou energii při excentrické kontrakci. Podle Malachy et al. (2000) je možné poškození svalstva předcházet důsledným zařazováním „warm-up“ aktivit, u kterých dojde k excentrickým kontrakcím, které předem připraví stejné svalové skupiny, jež budou následně při tréninku opět zapojovány excentricky. Také pravidelnost zařazování excentrických cvičení významně snižuje riziko poškození svalstva.

Základní přirozenou tendencí svalu je zkracování. Čím méně se práce svalu podobá jeho přirozené tendenci, tím více jsou svalové bílkoviny namáhané v tahu a tím snáze se poškodí.

Existuje více druhů myopatií. Společné je pro ně poškození svalových vláken. Přetížení myopatického svalu způsobuje jeho poškození. Inaktivita zase atrofii svalu. Podle Vacka (2005) je řešením posilování proti malému odporu, které u pomalu se rozvíjejících forem myopatií nevede k prokazatelnému poškození svalu. Aerobní typ zátěže navíc u myopatií prokazatelně vyvolává patrný efekt ve smyslu snížení únavy a zlepšení kardiorespirační výkonnosti pacienta. U rychleji progredujících forem myopatií volíme pohybovou zátěž uvážlivě. Musíme brát v úvahu druh převládající kontrakce, protože excentrická kontrakce při dostatečně vysoké intenzitě vede i u zdravého svalu k poškození vláken. Zdravý sval má však dostatek reparačních schopností, aby se s takovým traumatem vyrovnal a při opakování velké excentrické zátěže se na ni i adaptoval. V literatuře i v klinické praxi se setkáváme s převážně pozitivním účinkem izometrických kontrakcí při posilování. U rychle se rozvíjejících myopatií je použití velkých odporů ve spojení s excentrickou kontrakcí kontraindikováno (Vacek, 2005).

Součástí prevence, ale i následné péče, by mělo být upozornění pacientů na běžné denní činnosti, kdy excentrická kontrakce převažuje. Fyzioterapeuti by měli doporučovat klientům vhodné postupy při běžných každodenních aktivitách. Např. při posazování by se měl pacient snažit o rozložení váhy těla i do horních končetin uchopením područek židle. Sníží se tak excentrická zátěž m. qadriceps femoris. Zvláště ženy je vhodné upozornit na excentrickou zátěž paravertebrálních erektorů při déletrvajícím předklonu (luxování).

6.2 Stárnutí svalu a excentrická cvičení

Na dvou významných univerzitách – Kalifornské a na Kodaňské univerzitě byla provedena studie, která odhalila některé klíčové biochemické mechanizmy, spojené se stárnutím svalů. Studie dokazuje, že když se svalovým satelitním buňkám poskytne správná kombinace biochemických signálů, opět se nastartuje jejich schopnost regenerovat svaly u seniorů. To nabízí nové slibné cíle

pro prevenci před tělo oslabující svalovou atrofií, která doprovází stárnutí. Předchozí výzkum na zvířecích modelech dokázal, že schopnost dospělých satelitních buněk vykonávat své poslání, jímž jsou opravy a nahrazování poškozené tkáně, řídí molekulární signály, které dostávají od svého okolí. Tyto signály se s věkem mění, což způsobuje, že opravný systém selhává (Carlson, Suetta, Conboy, Aagaard, Mackey, Kjaer & Conboy, 2009).

V další studii vědci vybrali 30 mužů v dobré fyzické kondici a rozdělili je do dvou skupin. Mladé muže ve věku 21 až 24 let (průměr 22,6 let) a muže zralé, 68 až 74let (s průměrem 71,3 let). Na začátku pokusu jim provedli biopsii čtyřhlavého stehenního svalu. Zkoumanou končetinu pak každému jednotlivci na dva týdny znehybnili a nechali svaly, nenamáhané pohybem, ochabovat. Po 14 dnech bylo zahájeno dlouhodobé cvičení na posilovacích strojích, aby svaly nohou znovu nabraly na hmotě a síle. První tři dny a poté po čtyřech týdnech od začátku tréninkové fáze pokusu vědci opět udělali odběry vzorků tkáně.

Výsledky laboratorních analýz ukázaly, že před znehybněním končetin byla ve svalové tkáni starších osob, v porovnání s mladými, jenom polovina satelitních buněk schopných opravovat poškození. Tento rozdíl se v průběhu posilujícího cvičení ještě zvýšil. Intenzivní cvičení nezaktivovalo kmenové buňky, ale dokonce vyvolalo zánětlivé procesy a způsobilo mírné poškození tkáně. Vznikly v ní drobné trhlinky a jizvy. U starších lidí byla svalová atrofie rychlejší a následky výraznější a trvalejší. I pozitivní vliv cvičení byl mnohem slabší. Mladé svaly dva týdny nehybnosti postihly jen mírně a následné posilování snadno vedlo k nápravě. Dlouhodobá nečinnost tedy může ve stáří vést k nezvratnému poškození regenerativních schopností svalových satelitních buněk a pak je posilování již ochablých svalů mnohem méně účinné (Close, Kayani, Vasilaki, & McArdle, 2005). Snížení proteolýzy (proces způsobující úbytek svalů), souvisí se zvýšením hladiny inzulínu. Úbytek svalů je ovlivňován omezeným zásobením starších svalů živinami. Náprava tohoto stavu je možná cvičením. Podle vědců by posilování třikrát týdně mělo svaly zregenerovat (Proske

& Morgan, 2001). Excentrická kontrakce má nejmenší spotřebu kyslíku a nízké metabolické nároky. Proto je tento způsob posilování svalů vhodný i pro starší populaci a pro osoby s kardiovaskulárními potížemi. K nárůstu svalové síly dochází při nízkých zátěžích (La Stayo a kol., 1999). Pozitivní vliv excentrického cvičení prokázala studie, do které bylo zapojeno 21 seniorů ve věku 80 let. První skupina byla zapojena do tradičního posilování svalů na přístrojích, druhá skupina se zúčastnila excentrického tréninku. Biopsií bylo dokázáno, že excentricky posilovaná svalová vlákna vykazovala 60 % nárůst objemu, ve srovnání se 41 % nárůstem u tradičně posilující skupiny (La Stayo a kol., 2003).

7 KAZUISTIKA

7.1 Anamnéza

M. S. Žena, narozena 1989

OA: Běžné dětské nemoci, zápal plic (2011), distorze obou hlezen 2x vlevo, 3x vpravo, 2x distorze levého kolene, luxace malíku levé ruky, v dospívání odeslána obvodní lékařkou na ortopedii pro podezření na skoliózu páteře, zjištěn zkrat pravé dolní končetiny o 1 cm, s koleny a se zády docházela na rehabilitaci

RA: Matka má začínající DM II. typu

PA: Studentka vysoké školy

SA: Hraje závodně volejbal 11 let. Trénuje 3x týdně, jednou týdně zápas, v létě plážový volejbal, rekreačně cyklistika

AA: Neguje

FA: Neguje

NO: Poslední distorze pravého hlezna byla vážnější než předešlé. Při volejbalovém zápase dopadla po útoku blokující protihráčce na nárt. Na RTG vyšetření nebyla patrná žádná patologie. Léčba probíhala konzervativně sádrovou dlahou na 4 týdny. Nyní je pacientka 8 týdnů po úrazu. Před týdnem zkusila první tréninky. Ze začátku kotník jen lehce pobolíval na vnitřní straně při dopadu. Pacientka to řešila stažením pomocí obinadla. To jí pomohlo, takže pokračovala v trénování. Po týdnu ale začaly bolesti Achillovy šlachy. Ty se objevují zejména při a po zátěži, hlavně při výskoku.

7.2 Vyšetření

Aspekčně lýtkový sval na pravé straně mírně hypotrofický, paty spíše valgózní, řecký typ chodidla. Klenby v normě.

Palpačně při silnějším tlaku bolestivá pravá Achillova šlacha a hlezno.

Svalová síla svalů dolních končetin je stupně 5.

Vyšetření zkrácených svalů:

Malé zkrácení vykazují flexory kolenního kloubu obou DK. Zkrácení prvního stupně dále vykazují extenzory prstců obou DKK, druhého stupně vnitřní rotátory kyčle. U pravého m. triceps surae (m. gastrocnemius i m. soleus) nelze mluvit o zkrácení, je zde ale rozdíl oproti zdravé straně- viz. goniometrické vyšetření. Neuvedené svaly dolních končetin jsou v normě.

Antropometrické vyšetření dolních končetin:

Délka dolních končetin	**Pravá DK**	**Levá DK**
SIAS- vnitřní kotník	88 cm	87 cm
Umbiliko-maleolární	96 cm	96 cm
Velký trochanter- vnější kotník	81 cm	80 cm

Obvod dolních končetin	**Pravá DK**	**Levá DK**
Stehno 10cm nad patellou	49,5 cm	50 cm
Kolenní kloub	37 cm	39 cm
Lýtko	38 cm	40 cm
Kotník	26 cm	25 cm
Přes nárt a patu	31 cm	30,5 cm

Goniometrické vyšetření:

Kloub	Pravá DK	Levá DK
Kyčelní kloub	S: 15- 0 - 120	S: 15- 0 - 120
	F: 40 - 0 - 15	F: 40 - 0 - 15
	R_{S0}: 20 – 0 - 70	R_{S0}: 20 – 0 - 70
Kolenní kloub	S: 5 - 0 - 130	S: 5 - 0 - 125
Hlezenní kloub	S: 5 - 0 - 30	S: 15 - 0 - 45
	F: 20 - 0 - 45	F: 20 - 0 - 45

Kineziologický rozbor:

Chůze: Na stereotypu chůze není zranění patrné. Pacientka má však váhu na patách a silně jimi naráží při chůzi o zem, zároveň rozevírá a zvedá prsty u nohou, což neustále zatěžuje Achillovu šlachu, dolní končetiny rotuje dovnitř a v bederní oblasti páteře je patrná zvýšená pohyblivost nejspíše z důvodu oslabených břišních svalů a hyperlordózy.

Pohled zezadu: Pánev v anteverzi a šikmá (levá horní přední i zadní spina i krista výše). Tajle vpravo výraznější. Skoliotická křivka páteře s konvexem vlevo a s vrcholem v Th-L přechodu. V předklonu ale prominuje pravý žeberní val. Levé rameno výše. Trapézy hypertrofické. Pravá horní končetina ve větší vnitřní rotaci v rameni. Pravá infragluteální rýha výraznější. Dolní končetiny rotované dovnitř v kyčelních kloubech. Pravý lýtkový sval mírně hypotrofický. Otlaky

pat a Achillovy šlachy.

Pohled z boku: Chabé držení hlavy. Ramena mírně v protrakci. Oploštění hrudní kyfózy a akcentovaná bederní lordóza. Dolní část břicha mírně vyklenutá.

Pohled zepředu: Nejsou patrné další asymetrie.

7.2.1 Závěr vyšetření

Zkrat pravé dolní končetiny potvrzen antropometrickým vyšetřením. Pacientka je na něj ale dobře kompenzována. Na pravé dolní končetině je patrné zkrácení a hypotrofie svalů v důsledku imobilizace. Byl zjištěn nedokonalý stereotyp chůze.

7.3 Rehabilitační plán

7.3.1 Krátkodobý rehabilitační plán

- Protažení zkrácených svalů pomocí měkkých technik a protahovacích cviků.
- Mobilizace kloubů nohy jako počátek metodické řady senzomotorické stimulace.
- Posílení oslabených svalů pomocí cviků zaměřených na excentrickou kontrakci
- Následným zvyšováním zátěže zlepšit odolnost svalů a Achillovy šlachy na zátěž.

- Upravení stereotypu chůze a držení těla.

- Instruktáž autoterapie.

7.3.2 Dlouhodobý rehabilitační plán

- Doporučeno plavání, jízda na kole. Při tréninku pravidelně protahovat, zejména svalové skupiny výše zmíněné jako zkrácené. Pokračovat v posilování svalů DKK zejména m. triceps surae.

- Excentrické cviky provádět třikrát denně ve dvou sériích, při cvičení se zátěží (v batohu na zádech) zátěž postupně zvyšovat.

- V zimě chránit Achillovu šlachu proti prochladnutí, dbát vždy na kvalitní obuv.

- Jako prevenci zařadit do tréningu cviky proti vadnému držení těla.

- Pracovat na zlepšení stereotypu chůze.

7.4 Navržené excentrické cviky

1. Cvik na excentrické posilování lýtkového svalu a Achillovy šlachy:

Tělo ve vzpřímené poloze, stoj „na špičkách“ na okraji lavice (schodu), váha na přední části chodidel. Přenesení váhy na paty, protažení až pod úroveň podložky (Obrázek 3A).

2. Cvik na protažení a posílení lýtkového svalu:

Na první příčce žebřin stojíme na špičkách ve stoji mírně rozkročném a žebřiny držíme ve výšce prsou nadhmatem. Spustíme paty pod příčku a vydržíme 10 vteřin. Pomalu přecházíme do výponu, ve kterém vydržíme 7 vteřin. Uvolníme a s výdechem spouštíme paty opět pod příčku, kde

vydržíme 20 vteřin. Celé opakujeme 4-5 krát.

3. Cvik na protažení lýtkového svalu:

Stojíme ve stoji mírně výkročném pravou. Ruce pokrčené, vzpažené a opřené předloktím o stěnu. Levé koleno tlačíme dopředu a k zemi. Pánev směřujeme dolů a ke stěně. Vydržíme 15 vteřin, uvolníme a cvičíme druhou nohou.

4. Cvik na protažení flexorové skupiny svalů kolenního kloubu:

Ležíme s pokrčenou levou. Za pravé chodidlo zachytíme např. švihadlo a pomalu přednožujeme. Koleno máme stále propnuté a nezakláníme hlavu. V konečné poloze zvolna dýcháme, vydržíme 20 vteřin a pomalu nohu pokládáme pomocí šátku na zem. Poté cvičíme i druhou nohou.

5. Cvik se zaměřením na poraněnou končetinu:

Tělo ve vzpřímené poloze, stoj „na špičkách“ na okraji lavice, váha na přední části chodidla poraněné nohy, přenesení váhy, protažení pod úroveň podložky. Tentýž cvik cvičíme se závažím v batohu na zádech (Obrázek 3B, C, D).

6. Zvětšení rozsahu pohybu v hlezenním kloubu:

Stoj na jedné noze v připažení. Druhá noha mírně zdvižená nad zemí. Pomalu kroužíme v hlezenním kloubu do krajních poloh. Provedeme 5 krát doleva i doprava. Totéž provádíme i druhou nohou.

7. Cvik na posílení břišního svalstva:

V lehu na zádech skrčíme nohy přednožmo zkřižmo. Paže skrčíme vzpažmo zevnitř a ruce dáme v týl. Aktivací spodní části břišního svalstva postupně zvedáme bedra od podložky a zároveň jdeme koleny směrem k ramenům. Dáváme pozor, aby nenastalo prohnutí v bedrech. S nádechem se vracíme do výchozí polohy.

8. „Split squat and progression“:

Výpady vřed, levá noha vzadu, širší stoj, vykročení pravou, nohy pokrčené, přenesení váhy do podřepu. Střídáme nohy, postupně přidáváme závaží (Obrázek 4).

9. „Eccentric backward steps“:

Cvičenec i cvičitel stojí proti sobě, levá noha vzadu, stojí ve stoji mírně výkročném pravou, zadní noha unožena do propnutí lýtkového svalu, pravé koleno tlačíme dopředu, cvičenec klade odpor cvičiteli, který se ho pokouší přetlačit dozadu (Obrázek 5).

8 DISKUSE

Excentrická kontrakce je zatížena tvrzením o poškození svalu. Pravděpodobně díky tomuto faktu stála dlouhou dobu stranou vědeckého bádání. V posledních výzkumech, zabývajících se svalovým poškozením, se odborníci snažili zjistit, co je hlavním problémem poškození, kde se jako první projeví a proč k němu dochází. Podle Proskeho a Morgana (2001) existují dva způsoby poškození svalového vlákna. Jedním z nich je narušení sarkomer v myofibrilách. Delší a proto slabší sarkomery excentrický nápor nevydrží a dochází k jejich přetížení. O přesném mechanismu přetížení sarkomery se vedou spory a je nadále předmětem spekulací. Mohou v něm figurovat vlákna desminu nebo titinu, ale také je možné, že z důvodu malých chyb v uspořádání mohou být silná a tenká vlákna přetížených sarkomer přeházené vůči sobě navzájem. Další příčinou může být inaktivace některých sarkomer z důvodu poškození T-tubulu. Stejně jako pro poškození svalových vláken existují i důkazy o poškození smyslových orgánů svalu. Působí-li na sval za těchto podmínek velmi velká síla, která překročí pružnost i pevnost svalu, může dojít i k větším strukturálním změnám ve smyslu natržení svalu. S takto velkými silami se ale ve fyzioterapii většinou nepracuje. Natržení svalu je tedy běžné spíše ve sportu.

Vzhledem k menšímu zájmu o brzdnou kontrakci se autoři odborných studií zabývají spíše pozitivními vlivy kontrakce, ve snaze dostat ji a možnosti práce s ní do širšího povědomí. Autoři těchto studií se zaměřují na zlepšení funkcí pohybového systému, léčbu některých diagnóz nebo na sportovní přípravu. Pozitivní efekt není omezen pouze na sval. Ovlivňuje také šlachu a kost, na kterou se šlacha upíná. Jedním z pozitiv je, že sval je při prodlužování schopen vykonat větší sílu než při koncentrické kontrakci (to je známo už od roku 1882 díky Adolfu Fickovi). V praxi to znamená možnost posilování s většími váhami a tím pádem dochází k mohutnější hypertrofii svalových vláken, o kterou nám jde při zvětšování svalové síly v rehabilitaci i ve sportu. Havlíčková (1999) mluví i o mohutnější proprioreceptivní aferentaci z příslušných svalů v průběhu

excentrické kontrakce oproti koncentrické, protože jsou nadprahově podrážděna jak vřeténka, tak Golgiho tělíska. Při koncentrické kontrakci se neudržuje zvýšená aferentace z obou typů receptorů po celou dobu kontrakce. Havlíčková (1999) dále udává, že mohutnější aferentace vede ke snížení prahu dráždivosti alfa motoneuronů a excentrická kontrakce je proto kontrakcí s nejmohutnějším náborem motorických jednotek. Nabízí se tedy otázka, je-li vhodné použít posilování pomocí brzdné kontrakce při snížení svalové síly například pod stupeň 3 svalového testu. Díky výše popsaným mechanismům by měla být dosažena maximální aktivace velkého počtu motorických jednotek a mělo by docházet k větší hypertrofii, což by umožnilo rychlejší zvýšení svalové síly na vyšší stupně. Toto zlepšení by bylo podstupováno za cenu možného rizika mikrotraumatizace svalových vláken, kterému ale lze při dodržení určitých zásad předejít. Pozitivní vliv na šlachu dle La Stayo et al. (2003) spočívá v tom, že fibroblastické buňky šlach jsou stimulovány excentrickým cvičením k větší tvorbě kolagenu. Šlacha, která je pravidelně excentricky protahována, se tak stává pevnější v tahu. Podobný princip platí i pro kost, jejíž osteoblasty jsou stimulovány i tahem svalů, a pokud platí, že excentrická kontrakce působí na kost největší silou, stimuluje osteoblasty nejvíce. V praxi je to využitelné u onemocnění jako jsou osteoporóza nebo osteopenie.

Přínos popisované kontrakce je ale podmíněn dodržením určitých zásad. Svalové poškození, a z něj pramenící opožděná svalová bolest se vyskytuje pouze tehdy, dojde-li k jednorázovému přetížení netrénovaného svalu. Pokud dochází k postupnému a pravidelnému vystavování svalových skupin excentrické zátěži, nedochází k bolesti, ale jen k minimálnímu poškození svalových vláken. Lidské tělo má adaptační mechanismy, díky kterým se po dodržení daných zásad sval již nepoškozuje. Pozitivní účinky brzdné kontrakce vyplývají ze schopnosti našeho těla zapojit do regeneračního procesu adaptační a reparační mechanismy. Přesné objasnění těchto mechanismů je opět spíše ve stádiu teorií. Prokázané je zvýšení počtu sarkomer ve svalovém vláknu (Proske & Morgan, 2001). Tah se tak rozloží na více sarkomer, průměrná délka sarkomery je kratší a díky

prodloužení svalového vlákna se zmenší pracovní rozsah svalu, který zahrnuje oblast potenciální nestability.

V kazuistice je popsána pacientka s bolestí Achillovy šlachy. Po odebrání anamnézy jsem zjistil, že by v jejím případě bylo ideální použít v terapii excentrických cvičení a vyzkoušet tak popisovanou účinnost ze studie Eccentric rehabilitation exercise increases peritendinous type I collagen synthesis in humans with Achilles tendinosis (Langberg et al., 2005). Očekával jsem zvětšení svalové síly m. triceps surae, zvýšení tvorby kolagenu ve šlaše a následné zvětšení pevnosti šlachy i samotného úponu na kost, jako adaptaci na prováděné cvičení. Pacientka cvičila denně zadané cviky. Po čtrnácti dnech již byla úplně bez bolesti a mohla se vrátit do tréninku.

Téma mě zajímalo z pohledu fyzioterapeutického i sportovního. Osobně jsem mnohokrát zažil svalovou bolest po náročném tréninku. Tu jsem si vysvětloval teorií kyseliny mléčné (laktátu), která je však již přinejmenším zpochybnitelná. Dnes už jsem schopný analyzovat původ bolesti. Byla vždy způsobena jednorázovým zatížením, z velké části tvořené excentrickým cvičením, nejčastěji po delší tréninkové pauze. Postupem času, při opakování cvičení, se tělo na tuto situaci vždy adaptovalo a bolest se již nevyskytovala. Nárůst síly i rychlosti tímto typem trénování byl vždy markantní. Dle mého názoru je také důležité, užívat tento typ cvičení preventivně, zejména u svalových skupin, které intenzivně excentricky pracují. Preventivně lze využít excentrického cvičení jak v průběhu sportovní sezóny u sportovců, tak i u pacientů, protože ani koncentrická ani izometrická svalová kontrakce nepřipraví (adaptuje) excentricky pracující svalové skupiny na reálné situace lépe než samotná brzdná kontrakce. Výzvou pro specialisty ve sportu i rehabilitaci je stanovení ideální doby pro zahájení excentrického cvičení a také stanovení optimálních tréninkových dávek tak, aby byla zajištěna bezpečná a přesto progresivní stimulace. Předpokládá se, že budoucí výzkum obhájí použití excentrického cvičení a zaměří se na zkoumání takových veličin jako je zatížení, objem, intenzita a frekvence.

9 ZÁVĚR

Na lidskou motoriku se zpočátku pohlíželo mechanisticky. V úvahu byly brány pouze koncentrické kontrakce a excentrické kontrakci bylo věnováno jen málo pozornosti. Pro hladký průběh pohybů jsou důležité partnerské vztahy mezi anatagonistickými skupinami svalů. Obecně jde o stupeň zapojení příslušných svalových skupin ve smyslu koncentrické, excentrické a izometrické kontrakce. Excentrickou kontrakci lze z kineziologického hlediska charakterizovat jako brzdný pohyb ve směru gravitace.

Cílem bakalářské práce bylo podat ucelený náhled na excentrickou kontrakci, zjistit jaké jsou její negativa a pozitiva a za jakých podmínek se projevují. Ze studií, uvedených v této práci, vyplývají následující závěry.

Biomechanické studie hodnotí excentrickou kontrakci jako méně energeticky náročnou a tím také účinnější proti kontrakci koncentrické. Prokázán byl pozitivní efekt na šlachu ve smyslu zvýšení pevnosti v tahu díky zvýšené produkci kolagenu. Na pravidelnější excentrické zatížení se sval adaptuje zvýšením pevnosti a odolnosti svalu proti přetížení. Posilování svalů pomocí excentrického cvičení, respektive plyometrického tréninku, je oproti ostatním posilovacím strategiím, využívajícím jiné typy kontrakce, účinnější. S výhodou je možné použít tento typ tréninku zejména ke zvýšení rychlosti a síly.

Bolest svalů prokazatelně způsobuje jejich excentrická činnost. Po přetížení netrénovaného svalu tímto typem zátěže dojde k poškození svalového vlákna na úrovni sarkomer. Bolest se objevuje několik hodin po zátěži a vrcholí druhý až třetí den. Úplně odeznívá po osmi až deseti dnech, kdy dojde k regeneraci svalu.

Brzdná kontrakce přináší bezesporu rizika poškození svalu. Její přínos při dodržení správné a odborné aplikace ve smyslu postupného a pravidelného zatěžování s plynulým přidáváním zátěže, nejlépe u předem zahřátých svalů, toto riziko převišuje.

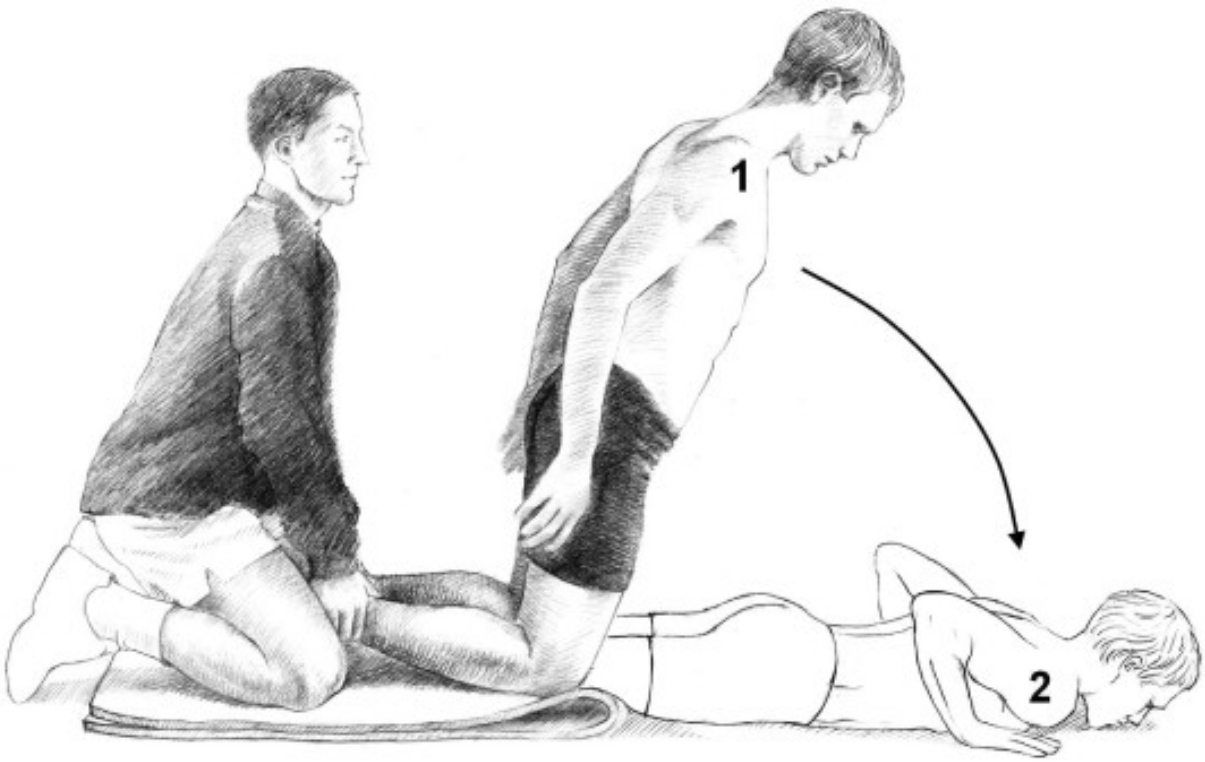
10 SOUHRN

Pro ucelený pohled na excentrickou kontrakci jsou uvedeny poznatky o základních biomechanických a molekulárních principech, neurofyziologických zákonitostech, strukturálních změnách a fyziologii svalové kontrakce. Práce se zabývá vlivem excentrické kontrakce na pohybový aparát a srovnává tento vliv s jinými typy kontrakcí (izometrickou a koncentrickou). Dále práce zkoumá účinky excentrického cvičení a jeho vliv na možné poškození svalů. Excentrické cvičení vyhodnocuje jako pozitivní přínos pro sportovní rehabilitaci. Dokládá, že svalové poškození při excentrickém cvičení je většinou dočasné a napravitelné. Sval se v procesu obnovy fungování stává vlivem excentrického cvičení odolnějším. Excentrické cvičení je vhodné i pro starší populaci a jeho pravidelnost zlepšuje regenerační možnosti, sílu a odolnost jejich svalů. Delší nečinnost u nich však způsobuje regresi, kterou už ani pravidelným cvičením nelze vrátit na původní úroveň.

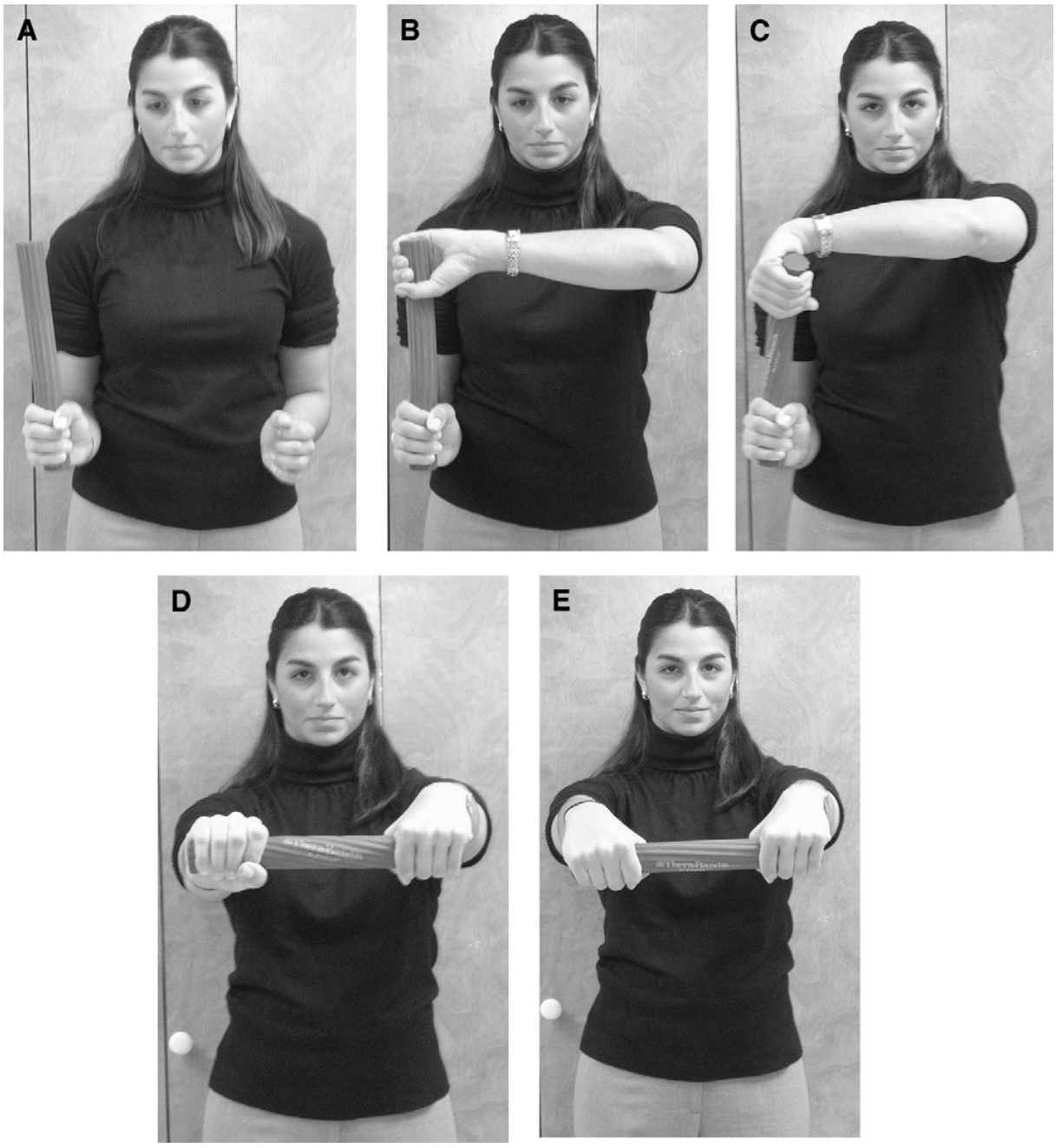
11 SUMMARY

For a complete view of the eccentric contraction are given information on the basic biomechanical and molecular principles, neurophysiological principles, structural changes and physiology of muscle contraction. The work deals with the influence of eccentric contraction on the musculoskeletal system and compares this effect with other types of contractions (isometric and concentric). The thesis examines the effects of eccentric exercise and its possible influence on muscle damage. Eccentric exercise is evaluated as a positive contribution to sports rehabilitation. It demonstrates that muscle damage during eccentric exercise is usually temporary and reversible.The muscle becomes more resilientin the process of recovery operation due to eccentric exercise. Eccentric exercise is also suitable for the elderly population and its regularity improves the regenerative possibilities, strength and endurance of their muscles. Prolonged inactivity among them, however, causes regression, which can not be returned to the original level even by the regular exercise.

12 PŘÍLOHA



Obrázek 1. Nordic hamstring cvičení (Mjølnes, 2004, 312)

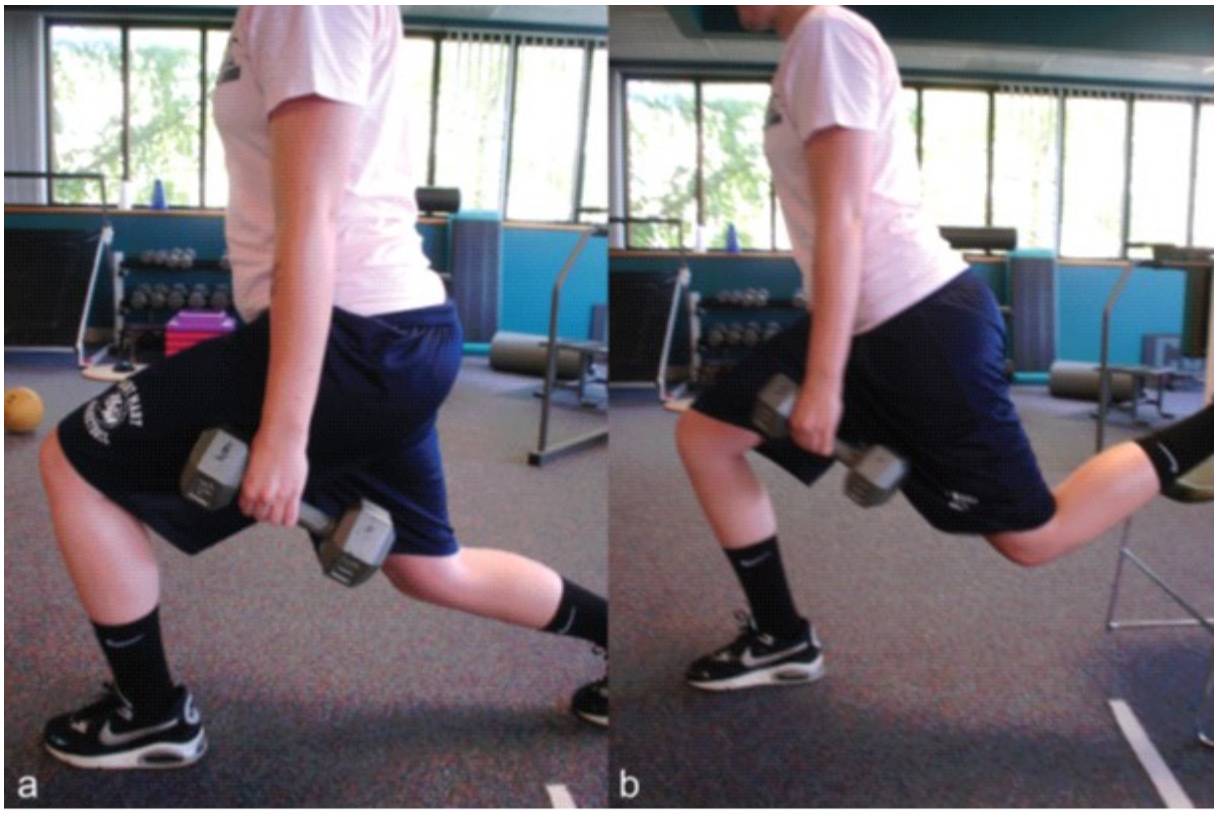


Obrázek 2. Přidání izolovaného cvičení vnějšího extenzoru zápěstí ve standardní léčbě chronického postižení laterálního epikondilu (Tyler, 2010, 919).

Obrázek 3A. (vlevo) Tělo ve vzpřímené poloze, stoj „na špičkách“ na okraji lavice (schodu), váha na přední části chodidel. Přenesení váhy na paty, protažení až pod úroveň podložky
Obrázek 3B. (vpravo) Tentýž cvik se zaměřením na poraněnou končetinu

Obrázek 3C. (vlevo) Přenesení váhy na patu, koleno ohnuté
Obrázek 3D. (vpravo) Cvik s přidáním závaží (batoh se závažím na zádech)

Obrázek 3A, 3B, 3C, 3D. Cvik na excentrické posilování lýtkového svalu a Achillovy šlachy (La Stayo, 2003)



Obrázek 4. „Split squat and progression“ (Lorenz Ď Reiman, 2011) - Excentrické cvičení na quadriceps, hamstringy, lýtkový sval a Achillovu šlachu.

Obrázek 5. „Eccentric backward steps“ (Lorenz Ď Reiman, 2011).
Cvičenec klade odpor cvičiteli, který se ho pokouší přetlačit dozadu.

Obrázek 6. Excentrické cvičení m. quadriceps. Výchozí a závěrečná pozice cviku.(Jonsson, 2009).

REFERENČNÍ SEZNAM

Andres, B. M., & Murrell, C. A. C. (2008). Treatment of tendinopathy: What works, what does not, and what is on the horizon. *Clinical orthopaedics and Related Research, 89(2),* 1539-1554. Retrieved 16. 10. 2012 from PubMed database on the World Wide Web: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18446422.

Bernacíková, M., Kalichová, M., & Beránková, L. (2010). *Základy sportovní kineziologie.* Retrieved 10. 1. 2013 from World Wide Web: http://is.muni.cz/do/1451/e-learning/kineziologie/elportal/index.html

Brooks, J. H. M., Fuller, C. W., Kemp, S. P. T., & Reddin, D. B. (2006). Incidence, Risk and Prevention of Hamstring Muscle Injuries in Professional Rugby Union. *The American Journal of Sports Medicine, 34*, 1297-1306. Retrieved 3. 1. 2013 from World Wide Web: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3362981/pdf/ijspt-07-333.pdf

Brown, L. E. (2000). *Iskinetics in Human Performance*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Brukner, P., & Khan, K. (2007). *Clinical sports medcine. 4th ed*. Mc Craw-Hill companies. Australia.

Carlson, M. E., Suetta, Ch., Conboy, M. J., Aagaard, P., Mackey, A., Kjaer, M., & Conboy, I. (2009). Molecular aging and rejuvenation of human muscle stem cells. *EMBO Molecular Medicine*, *8-9*, 381-391. Retrieved 10. 2. 2013 from World Wide Web: http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/emmm.200900045/full

Close, G. L., Kayani, A.,Vasilaki, A., & McArdle, A. (2005). Skeletal Muscle Damage with Exercise and Aging. *Sports Med, 35(5)*, 413-27. Retrieved 10. 1. 2013 from World Wide Web: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15896090

Dvořák, R. (2007). *Základy kinezioterapie* [Učební texty]. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.

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

Dylevský, I., & Ježek, P. (2000). *Základy kineziologie.* Retrieved 18. 12. 2012 from World WideWeb: http://vos.palestra.cz/skripta/kineziologie.

Dylevský, I., Druga, R., & Mrázková, O. (2000). *Funkční anatomie člověka. 1.vyd*. Praha: Grada.

Enoka, R. M. (2008). *Neuromechanics of human movemen. 4th ed.*, Champaign, IL: Human Kinetics.

Gerber, J. P., Marcus, R. L., Dibble, L.E., Greis, P.E., Burks, R.T., & LaStayo, P.C. (2009). Effects of early progressive eccentric exercise on muscle size and function after anterior cruciate ligament reconstruction: A one-year follow-up study of a randomized clinical trial. *Journal of Physical Therapy, 89(1)*, 52-59. Retrieved 3. 1. 2013 from World Wide Web: http://ptjournal.apta.org/content/89/1/51.full.pdf+html

Graeme, L., Close, A.,Kayani, A., & McArdle,A. (2005). Skeletal Muscle Damage with Exercise and Aging. *Sports Med, 35(5),* 413-427. Retrieved 12. 5. 2012 from World Wide Web: http://sriechman.tamu.edu/649/Aging/aging%20exercise%201.pdf

Hamill, J., & Knutzen, K. M. (2009). *Biomechanical Basis of Human Movement*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

Havlíčková, L. (1994). *Fyziologie tělesné zátěže I. Obecná část.* Praha: Karolinum.

Havlíčková, L. (1999). Význam excentrické kontrakce pro posturu. *Rehabilitace a fyzikální lékařství, 1.* 9-14. Praha: Česka lékařská společnost J. E. Purkyně.

Hnátová, I., Pavlů, D., & Kaplan, A. (2009). Zranění hamstringů – možnosti léčby a terapeutických postupů v závislosti na jednotlivých fázích procesu hojení. *Rehabilitace a fyzikální lékařství. 16*, 170-176.

Houglum, P. A. (2005). *Therapeutic exercise for muskuloskeletal injuries (2th ed.).* Champaign, IL: Human Kinetics.

Iga,J., Fruer, C. S., Deighan, M., Croix, M. D. S., & James, D. V. B. (2012). Nordic hamstring exercise-engagement characteristic and training response. *International Journal of Sports Medcine, 33(12)*, 1000-1004. Retrieved 11. 1. 2013 from World Wide Web: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22895870.

Jonsson, P. (2009). *Eccentric training in the treatment of tendinopathy.* Umeå University, Department of Surgical and Perioperative Sciences, Sports Medicine, Sweden. Retrieved 12. 3. 2013 from World Wide Web: http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:umu:diva-25856

Kittnar, O. et al (2011). *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada.

Langberg, H., Ellingsgaard, H., Madsen, T., Jansson, J., Magnusson, S. P., Aagard, P., & Kjaer, M. (2005). Eccentric rehabilitation exercise increases peritendinous type I collagen synthesis in humans with Achilles tendinosis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports. 17,* 61-66. Retrieved 12. 12. 2012 from World Wide Web: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16787448.

LaStayo, P. C., Reich, T. E., Urquhart, M., Hoppeler, H., & Lindstedt, S. L. (1999). Chronic eccentric exercise: improvements in muscle strength can occur with little demand for oxygen. *American Journal of Physiology, 276,* 611-615. Retrieved 10. 1. 2013 from World Wide Web: http://ajpregu.physiology.org/content/276/2/R611.full.pdccf+html.

LaStayo, P. C., Ewy, G. A., Pierotti, D. D., Johns, R. K., & Lindstedt, S. L. (2003). The Positive Effects of Negative Work: Increased Muscle Strength and Decreased Fall Risk in a Frail Elderly Population. *The Journal of Gerontology, 58(5)*, 419-424. Retrieved 12. 1. 2013 from World Wide Web: http://biomedgerontology.oxfordjournals.org/content/58/5/M419.short.

LaStayo, P. C., Woolf, J. M., Lewek, M. D., Snyder-Mackler, L., Reich, T., & Lindstedt, S. L. (2003). Eccentric Muscle Contractions: Their Contribution to Injury, Prevention, Rehabilitation, and Sport. *Journal of Ortopaedic & Sports Physical Therapy. 33*, 557-571. Retrieved 9. 1. 2013 from World Wide Web: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14620785.

Lindstedt, S. L., LaStayo, L. C., & Reich, T. E. (2001). When Active Muscles Lengthen: Properties and consequences of eccentric contractions. *News in Physiological Sciences. 16,* 256-261. Retrieved 6. 1. 2013 from World Wide Web: http://physiologyonline.physiology.org/content/16/6/256.full.

Lorenz, D., & Reiman, M. (2011). The Role and implementation of eccentric training in athletic rehabilitation: tendinopathy, hamstring strains and ACL reconstruction. *The International Journal of Sports Physical Therapy, 6(1),* 27–44. Retrieved 6. 1. 2013 from World Wide Web: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3105370/ .

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

Malachy, P., & Mc Hugh, M. P. (2000). Can exercise-induced muscle damage be avoided? *West J Med, 172(4)*, 265–266. Retrieved 23. 1. 2013 from World Wide Web: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1070844.

Merkunová, A., & Orel, M. (2009). *Anatomie a fyziologie člověka pro humanitní obory.* Praha: Grada.

MjØlnes, R., Arnason, A., Østhagen, T., & Bahr, R. (2004). A ten week randomized trial comparing eccentric vs. concentric hamstring strenght training in well-trained soccer players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 14,* 311-317. Retrieved 26. 1. 2013 from World Wide Web: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15387805.

Proske, U., & Morgan, D. L. (2001). Muscle damage from eccentric exercise: Mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *The Journal of physiology. 537,* 333-345. Retrieved 9. 1. 2013 from World Wide Web: http://jp.physoc.org/content/537/2/333.full.

Rock, C. M., & Petak-Krueger, S. (2000). *Agisticko-excentrické kontrakční postupy k ovlivnění funkčních poruch pohybového systému.* Brno: CERM

Schmitt, B., Tyler, T., & Mc Hugh, M. (2012). Hamstring injury rehabilitation and prevention of reinjury using lengthened state eccentric training: a new concept. *The International Journal of Sports Physical Therapy,7(3),* 331-341. Retrieved 20. 1. 2013 from World Wide Web: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3362981.

Trnavský et al. (1993). *Léčebná rehabilitace v revmatologii*. Praha: Grada.

Trojan, S. et al. (1999). *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada.

Tyler, T. F., Thomas, G. C., Nicholas, S. J., & McHugh, M. P. (2010*).* Addition of isolated wrist extensor eccentric exercise to standard treatment for chronic lateral epicondylosis: A prospective randomized trial. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 19(6),* 917-22 . Retrieved 5. 1. 2013 from World Wide Web: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20579907.

Vacek, J. Léčebná rehabilitace u svalových dystrofií. (2005). *Neurologie pro praxi, 6(6),* 291-293. Retrieved 2. 1. 2013 from World Wide Web: http://www.solen.sk/pdf/Vacek.pdf.

Vacek J, Veverková M, & Herbenová A. (1196). Možnosti komplexních reedukačních technik při léčbě svalových dystrofií. *Rehabilitace a Fyzikální lékařství, 3,* 75–80.

Wilmore, J. H., & Costtill, D. L. (2004). *Physiology of sport and exercise. 3rd ed*. Hong Kong: Human Kinetics.