

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav fyzioterapie

Edita Navrátilová

**Excentrická cvičení ve fyzioterapii
z pohledu EBM**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Barbora Kolářová

Olomouc 2012

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Název práce:

Excentrická cvičení ve fyzioterapii z pohledu EBM

Název práce v AJ:

Eccentric exercise in physiotherapy from the view of EBM

Datum zadání: 2012-01-31

Datum odevzdání: 2012-05-04

Vysoká škola, fakulta, ústav: Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta zdravotnických věd

Ústav fyzioterapie

Autor práce: Navrátilová Edita

Vedoucí práce: Mgr. Barbora Kolářová

Oponent práce: Mgr. Petra Bastlová, Ph. D

Abstrakt v ČJ:

Práce je zaměřena na vliv excentrické kontrakce a excentrických cvičení na pohybový aparát a možné využití ve fyzioterapii. Specifika excentrické kontrakce jsou popsány zejména ve vztahu k jiným typům kontrakce (izometrické, koncentrické). Cílem práce je argumentovat důkazy o účinnosti těchto cvičení na podkladě aktuálních poznatků z fyziologie o specifických excentrické kontrakce a jejich benefitů při využití v rámci fyzioterapie u vybraných patologických stavů pohybového aparátu (tendinopatie, osteoporóza, sarkopenie). Hlavní zdroje informací jsou články z recenzovaných vědeckých časopisů.

Abstrakt v AJ:

The work is aimed on the effect of eccentric contraction and eccentric exercise on the locomotive apparatus and possible utilising in physiotherapy. Specificity of eccentric contraction are described concerning to other types of contraction (isometric, concentric). The aim is to argue the evidence about the effectivity of these exercises on the strenght of actual findings of physiology about specificity of eccentric contraction and their benefits in the utilization in physiotherapy by chosen pathological estates of locomotive apparatus (tendinopathies, osteoporosis, sarcopenia). The main resources of information are articles from criticised scientific journals.

Klíčová slova v ČJ:

Kontrakce excentrická, cvičení excentrická, fyzioterapie, tendinopatie, sarkopenie, síla svalová, zranění.

Klíčová slova v AJ:

Contraction eccentric, exercise eccentric, physiotherapy, tendinopathy, sarcopenia, strenght muscle, injury.

Rozsah: 54 s., 6 příl.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a použila jen uvedené bibliografické a elektronické zdroje.

V Olomouci dne _____

_____ podpis

Děkuji Mgr. Barboře Kolářové za trpělivost a odbornou pomoc při vedení bakalářské práce.

OBSAH

ÚVOD	8
1 PŘEHLED TEORETICKÝCH POZNATKŮ	10
1.1 Makroskopická stavba svalu	10
1.2 Molekulární struktura svalového vlákna.....	11
1.2.1 Stavba myofibrily	11
1.2.2 Aktin a myozin.....	12
1.2.3 Sarkoplazmatické retikulum	12
1.2.4 Nervosvalová ploténka	13
1.3 Molekulární podstata kontrakce.....	13
1.3.1 Na úrovni nervosvalové ploténky	14
1.3.2 Na úrovni svalového vlákna	14
1.3.3 Na úrovni aktinu a myozinu.....	14
1.3.4 Biochemická podstata kontrakce svalu.....	15
1.4 Metabolismus v průběhu svalové činnosti.....	16
1.5 Typy svalových kontrakcí v závislosti na délce svalu.....	17
1.5.1 Izometrická kontrakce.....	17
1.5.2 Koncentrická kontrakce	17
1.5.3 Excentrická kontrakce.....	18
2 EXCENTRICKÁ KONTRAKCE	19
2.1 Excentrická kontrakce v historickém kontextu.....	19
2.2 Utilizace mechanické energie při excentrické kontrakci	19
2.3 Specifika propioceptivní aferentace během excentrické kontrakce	21
2.4 Vliv excentrické kontrakce na svalovou sílu	21
2.4.1 Srovnání síly stahu u jednotlivých typů kontrakce	22
2.4.2 Vztah rychlost-síla	23
2.5 Strukturální změny v důsledku excentrické kontrakce	24
2.5.1 Vliv na šlachu	24
2.5.2 Vliv na kost.....	25
2.6 Specifika nervového řízení během excentrické kontrakce	25
3 DISKUZE	28
3.1 Možnosti využití excentrických cvičení ve fyzioterapii z pohledu evidence based medicine.....	28
3.1.1 Entezopatie.....	28
3.1.1.1 Chronická tendinopatie Achillovy šlachy.....	28
3.1.1.2 Lateral epicondylitis	31
3.1.1.3 Patelární tendinopatie	33
3.1.2 Excentrická cvičení u starší populace	33
3.1.2.1 Efektivita excentrického tréninku u sarkopenie.....	34
3.1.2.2 Efektivita excentrického tréninku u osteopenie.....	35
3.1.2.3 Prevence pádů	35
3.2 Excentrická kontrakce - využití ve sportu	36
3.2.1 Excentrické posilování svalu	36
3.2.2 Plyometrie.....	37
3.3 Možný negativní dopad excentrického cvičení	37
ZÁVĚR	39
BIBLIOGRAFICKÉ A ELEKTRONICKÉ ZDROJE	41

SEZNAM ZKRATEK	46
SEZNAM OBRÁZKŮ	48
SEZNAM PŘÍLOH	49
PŘÍLOHY	50

ÚVOD

V bakalářské práci se zaměřuji na využití excentrických cvičení v praxi. Hlavní otázky, kterými jsem se zabývala jsou:

- A. Jaký vliv má excentrické cvičení na pohybový aparát?
- B. U kterých diagnóz je excentrické cvičení prokázáno jako účinná léčba?
- C. Jaké jsou možné negativní dopady excentrického cvičení na pohybový aparát?

Cílem práce (vzhledem k hlavním otázkám) je:

- A.
 - 1. Předložit poznatky o excentrické kontrakci a specifických vlastnostech této kontrakce.
 - 2. Předložit poznatky o vlivu excentrické kontrakce na pohybovou soustavu, zejména na: sval, šlachu, kostěné struktury a inervaci.
- B.
 - 1. Specifikovat možnost využití excentrických cvičení ve fyzioterapii.
 - 2. Předložit důkazy o účinnosti excentrických cvičení u jednotlivých patologických stavů a srovnat účinnost s jiným typem rehabilitační léčby.
- C.
 - 1. Specifikovat možné negativní dopady excentrických cvičení na pohybový aparát.
 - 2. Určit za jakých podmínek může dojít k poškození svalu excentrickým cvičením.
 - 3. Určit jak se vyhnout těmto negativním vlivům.

Vstupní studijní literatura pro mou práci byly souhrnné články: Význam excentrické kontrakce pro posturu (Havlíčková, 1999), When Active Muscles Lengthen: Properties and Consequences of Eccentric Contractions (Lindsted, LaStayo, Reich, 2001) a Eccentric Muscle Contractions: Their Contribution to Injury, Prevention, Rehabilitation, and Sport (LaStayo et al., 2003a).

K vyhledávání odborných článků a studií jsem používala databázi Google scholar. Pro tvorbu teoretické části byla klíčová slova: eccentric contraction muscle

strenght (16 500 odkazů, volně dostupných 285, použitých 12), eccentric exercise rehabilitation (22 200 odkazů, volně dostupných 258, použité 4).

Pro tvorbu diskuze byla klíčová slova pro vyhledávání: eccentric exercise Achilles tendinopathy (1 460 odkazů, volně dostupných 111, použitých 6), eccentric exercise lateral epicondylitis (890 odkazů, volně dostupných 55, použitých 5), eccentric exercise jumper's knee (415 odkazů, volně dostupných 73, použité 3), eccentric exercise elderly population (20 400 odkazů, volně dostupných 765, použitých 6).

V rámci otázky o možných negativních vlivech excentrického cvičení byla klíčová slova: eccentric exercise muscle damage (22 600 odkazů, volně dostupných 1 060, použitých 7).

Vyhledávací období zdrojů pro bakalářskou práci bylo listopad 2011 – duben 2012. Několik článků týkajících se využití excentrických cvičení při laterální epicondylitidě jsem měla vyhledáno již z dřívější doby, v rámci tvorby seminární práce Excentrická cvičení při laterální epicondylitidě. Většina dostupných zdrojů je v anglickém jazyce, česky psaný odborný článek jsem našla pouze jeden. Kromě odborných článků a studií jsem k tvorbě práce použila i učebnice typu neurofyziologie motoriky (Enoka, 2008) a biomechanika pohybu (Brinkmann, Robin, Leiseveth, 2002; Hamill, Knutzen, 1995; Wilmore, Costill, 2004) a to zejména pro tvorbu teoretické části.

1 PŘEHLED TEORETICKÝCH POZNATKŮ

Kosterní sval je tvořen 3 složkami: příčně pruhovanými svalovými vlákny, vazivem a tzv. logistickými komponenty (cévy, nervy) (Dylevský, Druga, Mrázková, 2000, s. 188).

1.1 Makroskopická stavba svalu

Vazivo svalu je rozděleno na několik úrovní. Obaluje jednotlivá svalová vlákna (pouze malá vrstva, dostatečná k tomu, aby se jednotlivé sarkolemy vzájemně nedotýkaly). Dále obaluje jednotlivé primární a sekundární snopce (endomyzium) a snopce vyšších řádů (perimyziium). Tyto obaly mají význam především pro látkovou výměnu, neboť velké množství kapilár je umístěno právě zde. Vazivo na povrchu svalu potom vytváří svalovou povázku (fascii). Ta odděluje jednotlivé svaly a pomocí vazivových přepážek odděluje jednotlivé prostory. V těchto štěrbinách pak probíhají kmeny cév a nervy (Dylevský, Druga, Mrázková, 2000, s. 188-189). Vazivo se jako nekontraktilní komponenta svalu pasivně podílí na kontrole excentrické kontrakce (Dean, 1988, s. 233).

Sval se ke kosti upíná pomocí šlachy. Přejít svalových vláken do šlachy je tvořen tak, že vazivo svalu (endomyzium, perimyziium) se schodovitě zasouvá do vymezeného vaziva šlachy. Tato stavba zajišťuje mimořádnou pevnost a také elastický přenos síly kontrakce na kost. Šlacha se ke kosti připojuje svalovým úponem. Svaly se upínají buď do periostu kosti (šlachy oválného a kruhovitého průřezu, šlachy upínající se do diafýz kostí), nebo do kostní kompakty (svaly jdoucí do míst nekrytých periostem) (Dylevský, Druga, Mrázková, 2000, s. 191-192).

Každý sval je tvořen příčně pruhovanými svalovými vlákny spojenými vazivem (Dylevský, Druga, Mrázková, 2000, s. 185).

1.2 Molekulární struktura svalového vlákna

Každé svalové vlákno je tvořeno jedinou svalovou buňkou. Svalové vlákno je mnohjaderný, 10-100 mikrometrů (μm) silný útvar. Je dlouhé průměrně 1-40 milimetrů (mm) (Alter, 1952, s. 13-14). Nejdelší svalová vlákna byla nalezena v musculus (dále jen m.) sartorius (až 30 centimetrů). Na povrchu svalových vláken je buněčná membrána nazývaná sarkolema (Dylevský, Druga, Mrázková, 2000, s. 185). V cytoplazmě (sarkoplazmě) jsou jádra, další buněčné orgány (mitochondrie, sarkoplazmatické retikulum, kapénky tuku a glykogen) a podélně orientovaná vlákna tzv. myofibrily. Z hlediska chemického složení obsahuje lidský sval 75 % vody, 24 % organických látek a 1 % látek anorganických. Z organických látek jsou nejdůležitější kontraktilní bílkoviny myozin a aktin a červené barvivo myoglobin. Z anorganických látek jsou důležité ionty draslíku a vápníku regulující vlastní svalový stah a následný proces relaxace (Klika, 1986, s.163-170).

1.2.1 Stavba myofibrily

Svalové vlákno je složeno ze stovek myofibril a každá z nich je členěna na pravidelné úseky tzv. sarkomery. Sarkomera je základní funkční a strukturní jednotka každé myofibrily a je ohraničena Z-disky na obou koncích. Délka sarkomery je asi 2,5 μm v klidu (sval se může prodloužit až na 180 % své klidové délky), 10 mm myofibrily představuje 4000 sarkomer v sérii (Enoka, 2008, s. 207). Myofibrily se seskupují do svazků a jsou uloženy podél svalového vlákna. Právě myofibrily jsou ty jednotky, které kontrahují, relaxují a prodlužují sval (Alter, 1952, s.13-14). Kontrakci sarkomery realizují dvě bílkoviny – aktin a myozin (Dylevský, Druga, Mrázková, 2000, s. 185).

Myofibrily jsou charakteristické svým příčným pruhováním, tedy střídáním světlých a tmavých proužků. Je to způsobeno tím, jak se vzájemně překrývají aktinová a myozinová myofilamenta (Enoka, 2008, s.207).

1.2.2 Aktin a myozin

Tenčí aktinové filamentum se ukotvuje kolmo do Z-disků (Alter, 1952, s. 13). Střed silnějšího myozinu jsou spojeny bílkovinou, která je viditelná jako M-linie (Trojan, 1999, s. 72). Světlý pruh nazýváme I-pružek (izotropní), měří přibližně 1,5 μm a je tvořen pouze aktinem. Tmavý pruh nazýváme A-pružek (anizotropní), jeho délka je asi 1 μm a je to oblast, kde je i aktin i myozin. Střed každého A-pružku je tvořen H-zónou, která je světlejší a je místem, kde se aktin a myozin vzájemně nepřekrývají (Alter, 1952, s. 13-14).

Délka myozinu je asi 1,5 μm , průměr je 12 nanometrů (nm) a je po obou stranách volný (Enoka, 2008, s. 207-208). Myozin vysílá směrem k aktinu četné boční projekce, tzv. příčné můstky (z anglického cross bridges). Ty jsou významné z hlediska mechanismu svalové kontrakce. Příčný můstek se skládá z 2 částí – hlavy a ocasní (koncové) části (Alter, 1952, s. 14). Jako ocas nebo také násada se označuje lehký meromyozin, který je tvořen dvěma vzájemně se obtáčejícími polypeptidovými řetězci, na jejichž jednom konci je hlava myozinu. Globulární hlava se označuje jako těžký meromyozin, má katalycké místo pro připojení ATP (adenosintrifosfát, dále jen ATP) a vazebné místo pro spojení s aktinem. Část označovaná jako krček umožňuje naklopení hlavy vůči ocasní části (Enoka, 2008, s. 207-208).

Aktinové myofilamentum měří v průměru 7 nm a délka je 1,27 μm . Skládá se kromě aktinu také z troponinu a tropomyozinu. Je tvořen dvěma spirálovitými vlákny tzv. F-aktinu tvořeného molekulami globulárního G-aktinu. Tropomyozin vytváří dva řetězce, které jsou po stranách dvoušroubovice aktinu. Troponin je globulární struktura skládající se ze 3 podjednotek: TN-C vážící Ca^{2+} ionty, TN-T spojující troponin s tropomyozinem a TN-I bránící v klidu interakci myozinu s aktinem (Enoka, 2008, s. 207-208).

1.2.3 Sarkoplazmatické retikulum

Sarkoplazmatické retikulum je hladké endoplazmatické retikulum, jehož hlavním úkolem je skladovat vápenaté ionty nezbytné pro svalovou činnost. Vytváří volně organizovanou síť obklopující myofibrily (Alter, 1952, s. 15). Čím rychleji je schopno

svalové vlákno reagovat, tím více sarkoplazmatického retikula obsahuje, a tím více obsahuje také vápenatých iontů (Bernášková, 2000, s. 246).

Je součástí tzv. sarkotubulárního systému, který se skládá ze dvou komponent, a to sarkoplasmatického retikula a T-systému. T-systém neboli transverzální tubuly jsou tvořené membránou svalového vlákna, které se zanořují kolmo k myofibrilám. V místě Z-linie se stýká T-systém a dvě sarkoplasmatická retikula a vytvářejí triádu. Základní funkcí T-systému je komunikace mezi povrchem a nitrem svalového vlákna (Alter, 1952, s. 15).

1.2.4 Nervosvalová ploténka

Vlákna příčně pruhovaných svalů jsou řízena přímo nervovým systémem. Pokud není sval inervovaný, není funkční. Axony míšních motoneuronů a sarkolema spolu vytváří nervosvalovou ploténku (podobná chemické synapsi). Její funkcí je přenos vzruchu z nervového vlákna na svalové vlákno (Enoka, 2008, s. 190).

Šířka této synapse je 50-70 nm. Presynaptickou část tvoří axonální zakončení motoneuronu, uložené v mělkých žlábcích, které se vytvořily invaginací sarkolemy. Invaginace vede zejména ke zvětšení aktivní zóny synapse. V této části ploténky se nacházejí váčky hromadící mediátor (acetylcholin). Postsynaptickou část tvoří sarkolema svalového vlákna. Tato část ploténky obsahuje receptory (nikotinového typu), které na sebe váží acetylcholin v případě jeho uvolnění (Bernášková, 2000, s. 250-251). Hustota těchto receptorů je až 10 000 receptorů/ μm^2 (Enoka, 2008, s. 190).

1.3 Molekulární podstata kontrakce

Svalová kontrakce je sled na sebe navazujících dějů, které se odehrávají na více úrovních (Enoka, 2008, s. 190).

1.3.1 Na úrovni nervosvalové ploténky

Průchod impulsu nervovým vláknem způsobí otevření váček s acetylcholinem na presynaptické části nervosvalové ploténky. Acetylcholin se naváže na postsynaptické receptory a způsobí otevření iontových kanálů pro sodné ionty. Klidový membránový potenciál je -90 milivoltů (mV). Příliv sodných (Na^+) a odliv draselných (K^+) iontů způsobí depolarizaci sarkolemy a může přerůst ve vznik akčního potenciálu (až +40 mV) (Enoka, 2008, s. 190-191).

Acetylcholin se po přenosu uvolňuje z receptoru a je odbourán enzymem acetylcholinesterázou. Pokud by k tomuto nedošlo, sval by zůstal ve stahu a ploténka by byla vyřazena z další činnosti, neboť by se při dalším průchodu impulsu neměl uvolněný acetylcholin kam navázat (Bernášková, 2000, s. 250-251).

1.3.2 Na úrovni svalového vlákna

Akční potenciál se šíří po postsynaptické membráně a prostřednictvím T-systému i do nitra buňky. Rychlost šíření je až 6 m/s. Způsobí depolarizaci sarkoplazmatického retikula, které uvolní velké množství iontů vápníku (Ca^{2+}) do sarkoplazmy. Vápenatý kationt se váže na troponin, čímž se změní jeho prostorová konfigurace a umožní tropomyozinu zanořit se hlouběji mezi vlákna aktinu. Tímto dojde k odkrytí aktivních (vazebných) míst a umožnění interakce aktinu a myozinu. Děj, probíhající od elektrické stimulace svalu až k iniciaci svalové kontrakce se nazývá spřažení excitace a kontrakce (Enoka, 2008, s. 210).

1.3.3 Na úrovni aktinu a myozinu

Po odkrytých aktivních místech aktinu se natahují hlavy myozinu a vytváří se spojení mezi aktinem a myozinem neboli příčný můstek. Myozinové vlákno aktivně přitahuje dvě aktinová vlákna zakotvená do Z-linií, a tím je k sobě přitahuje. Výsledkem je zkrácení sarkomery, myofibrily a tedy i svalu (Enoka, 2008, 212-213; Bernášková, 2000, s. 246).

Čím více hlav myozinu se spojí s aktivním místem aktinu, tím je svalová kontrakce silnější. Čím více se přiblíží sousední Z-proužky, tím více se sval zkrátí. Sval se může zkrátit až o 50-70 % své klidové délky (Bernášková, 2000, s. 244).

1.3.4 Biochemická podstata kontrakce svalu

Ukazuje se, že interakce mezi kontraktilními proteiny svalového vlákna je výsledkem disinhibice Ca^{2+} , která spustí sled biochemických událostí, které nazýváme cyklus příčných můstků. Celý proces vyžaduje energii obsaženou v ATP spotřebovanou globulární hlavičkou myozinu. Proces je postaven na přítomnosti Ca^{2+} (aktivovaný stav) nebo na nepřítomnosti Ca^{2+} (relaxovaný stav) (Enoka, 2008, s. 210-211).

Celý cyklus začíná vazbou ATP na hlavu myozinu. ATP je hydrolyzován na ADP (adenosindifosfát, dále jen ADP) a anorganický fosfát (Pi) a hlava myozinu je slabě vázána na aktin (Enoka, 2008, s. 210-212). Míra hydrolýzy ATP se liší podle typu svalového vlákna, největší je u tzv. rychlých vláken (Steinen et al. in Enoka, 2008, s. 212). Vazba Ca^{2+} na troponin umožní hlavám myozinu se přiblížit, dojde k uvolnění Pi a k silné vazbě. Každý příčný můstek koná sílu okolo 2 pN několik stovek milisekund právě během fáze silné vazby. Práce vykonána hlavami myozinu umožní přemístění tenkého a silného myofilamenta o 5-10 nm v jednom cyklu (Kitamuta et al. in Enoka, 2008, s. 212).

Práce, kterou vykonává sval, je vysvětlována jako mnoho opakujících se cyklů příčných můstků, označuje se jako teorie můstků (Huxley in Enoka, 2008, s. 212-213). Termín kontrakce označuje stav svalové aktivity, kdy se tvoří příčné můstky jako odpověď na akční potenciál (Enoka, 2008, s. 213).

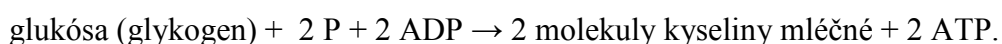
Když akční potenciál pomine, Ca^{2+} je aktivně odčerpán ze sarkoplasmy zpět do sarkoplazmatického retikula. Čerpání probíhá proti koncentračnímu gradientu a je tedy spojeno s hydrolýzou molekuly ATP (1 molekula ATP na dva ionty Ca^{2+}). Ca^{2+} je také uvolněn z vazby na troponin a dojde k opětovnému zakrytí vazebných míst pro aktin a myozin tropomyozinem. Sarkomera se vrací do původní délky díky elastické bílkovině titinu (Enoka, 2008, s. 210-211).

1.4 Metabolismus v průběhu svalové činnosti

Z hlediska energetického krytí hrají hlavní roli makroergní substráty tzn. lipidy, glycidy a proteiny. Štěpí se na jednoduché látky a vstupují do transformačního procesu intermediárního metabolismu a výsledkem je přeměna v ATP, bezprostřední zdroj energie pro sval. Mezi limitující faktory energetického zisku patří kromě nedostatku energetických zdrojů (substrátů) a poklesu průtoku krve také poměr makroergních substrátů ATP/ADP. Menší klidová spotřeba ATP a tedy menší produkce ADP brzdí další uvolňování energie. Naopak větší energetický výdej a větší tvorba ADP urychlují uvolňování energie pro pohybovou činnost (Havličková, 1994, s. 3).

Při krátkodobých výkonech maximální intenzity (10-20 s) dochází k uvolnění energie ze zásobních makroergních fosfátů ve svalové tkáni. Tyto zásoby jsou ale velmi malé a vystačí pouze na několik sekund práce i přes to, že se ATP neustále doplňuje reakcí s CP (kreatinfosfát, dále jen CP) získaným zejména odbouráním volných mastných kyselin z krve (Havličková, 1994). U trénovaných jedinců (sprinterů) dále dochází k tzv. laktátovému neoxidativnímu anaerobnímu způsobu hrazení energie. Podkladem je aktivita glykolytických vláken svalu s vysokou intenzitou stahu a vysokou unavitelností (Havličková, 1994, s. 5).

Při pohybových činnostech submaximální intenzity s nedostatečnou dodávkou kyslíku je energie získávána laktátovým anaerobním systémem hrazení energie. Zisk energie je zde poměrně malý. Schematicky:



Kapacita využití tohoto metabolického krytí je dána zejména schopností tolerance důsledků metabolické acidózy (Havličková, 1994, s. 5).

Při zátěži o mírné až střední intenzitě s trváním činnosti nad 90 s je zisk energie hrazen aerobním (oxidativním) způsobem. Nedochozí ke zvyšování hladiny kyseliny mléčné a kapacita oxidativního systému je teoreticky neomezená, dána především typem pohybové činnosti a schopností oxidativního systému dodávat makroergní fosfáty činným svalům. Schematicky:



Podkladem této činnosti je aktivita pomalých vláken kosterního svalu (Havličková, 1994, s. 5).

Využití jednotlivých zdrojů energie se kombinuje. U krátkodobých výkonů převažuje spotřeba zásobních ATP, CP a anaerobní glykolýza s tvorbou laktátu. U vytrvalostního zatížení střední intenzity (2 - 11 minut) jsou využity hlavně glycidy se střední tvorbou laktátu (oxidativní fosforylace), u dlouhých a velmi dlouhých vytrvalostních zátěžích potom glycidy a lipidy s malou tvorbou laktátu (Havlíčková, 1994, s. 6).

1.5 Typy svalových kontrakcí v závislosti na délce svalu

Svalové napětí je odpovědí na výchozí postavení segmentu a toho, jestli se segment zvedá, klesá, nebo sval pouze kontroluje výchozí postavení. Rozlišujeme tři typy kontrakcí v závislosti na délce svalu (Hamill, Knutzen, 1995, s. 83-84).

1.5.1 Izometrická kontrakce

Pokud je sval aktivní, napětí se zvyšuje, ale není žádná vnější změna výchozí pozice, nazýváme tuto kontrakci izometrickou (Komi in Hamill, Knutzen, 1995, s. 81). Je to také kontrakce, kdy se vzdálenost začátku svalu a úponu nemění, nedochází tedy ke změně délky svalu. Příkladem může být stálý stupeň flexe trupu, kdy zádové svaly pracují izometricky proti gravitaci, díky které by se flexe zvětšovala (Hamill, Knutzen, 1995, s. 81).

Při izometrické kontrakci se produkuje právě takové množství příčných můstků, aby došlo pouze ke stabilizaci segmentu. Vnější síla nedovolí svalů zkrácení. Pokud by bylo zapojeno více příčných můstků, kontrakce by přešla v kontrakci dynamickou (koncentrickou) (Wilmore, Costill, 2004, s. 53).

1.5.2 Koncentrická kontrakce

Při koncentrické kontrakci svaly aktivně vyvíjí sílu a zároveň dochází ke zkracování svalu, zatížení svalu je tedy menší než vyvíjená síla (Havlíčková, 1999,

s. 9). Kosterní svaly se mohou zkrátit o 50-70 % jejich klidové délky. Průměrná hodnota pro všechny kosterní svaly je 57 % (Bernášková, 2000, s. 246). Většina pohybů vzhůru je produkována koncentrickou kontrakcí, kdy zároveň dochází i k překonání gravitace. Svaly kontrolující (stabilizující) tuto kontrakci jsou agonisté. Svaly konající koncentrickou kontrakci jsou i iniciátory pohybu a produkují aktivní práci (Hamill, Knutzen, 1995, s. 82-83).

Molekulární podstatu koncentrické kontrakce vyjadřuje klasický model kontrakce – teorie můstků (Wilmore, Costill, 2004, s. 53).

1.5.3 Excentrická kontrakce

Ve chvíli, kdy je zatížení svalu větší než je vyvíjená síla, dochází k prodlužování svalu a tato kontrakce se nazývá excentrická (Komi in Hamill, Knutzen, 1995, s. 83). Zdrojem většího zatížení je nejčastěji gravitace, nebo aktivita antagonistů svalu (Billeter, Hoppeler in Hamill, Knutzen, 1995, s. 83). Excentrická kontrakce je tzv. negativní práce, segment se většinou pohybuje směrem dolů (ve směru gravitace), svaly pohyb dolů spíše kontrolují, ne iniciují. Excentrickou kontrakci produkují svaly také při brzdění pohybu (decelerace) (Hamill, Knutzen, 1995, s. 83).

Excentrickou kontrakci nelze vysvětlit klasickým modelem svalové kontrakce. Při excentrické kontrakci se zapojují další bílkoviny jako jsou titin a desmin. Propojení mezi Z-liniemi je realizováno pomocí vláknitého titinu. Titin se protahuje a zkracuje v místech, kde není fixován na myozinová filamenta a tím je vyvíjena tenze na Z-linii a sarkomera se prodlužuje (Havlíčková, 1999, s. 10-11).

2 EXCENTRICKÁ KONTRAKCE

2.1 Excentrická kontrakce v historickém kontextu

První zmínky v nejstarších fyziologických studiích o excentrické kontrakci jsou z roku 1882, kdy Adolf Fick objevil, že je sval schopen vykonat větší sílu zatímco se prodlužuje, než jakou vykoná při koncentrické kontrakci. O padesát let později A. V. Hill poukázal na to, že při excentrické kontrakci má sval nižší energetické nároky než při koncentrické nebo izometrické kontrakci (Lindstedt, LaStayo, Reich, 2001, s. 256).

V roce 1952 Abbott et al. demonstrují funkční souvislosti pomocí 2-místného bicyklového ergometru s jedním řetězem, kdy oba cyklisti šlapou proti sobě. Tento pokus ukazuje, že i objektivně slabší cyklista (žena), vytvářející brzdnu sílu (excentrie) je schopen vyvinout větší sílu než silnější cyklista šlapající vpřed. Jedná se o jednu z prvních moderních studií o excentrické kontrakci (Abbott, Bigland, Ritchie, 1952, s. 381-388).

V roce 1953 Erling Asmussen zavádí termín „excentric“ pro kontrakci, kdy dochází zároveň k prodlužování svalu, složený ze slov „ex“ a „center“, tedy pohyb od středu. Termín „eccentric“, který se v angličtině používá dnes, byl zaveden až později (Lindstedt, LaStayo, Reich, 2001, s. 256).

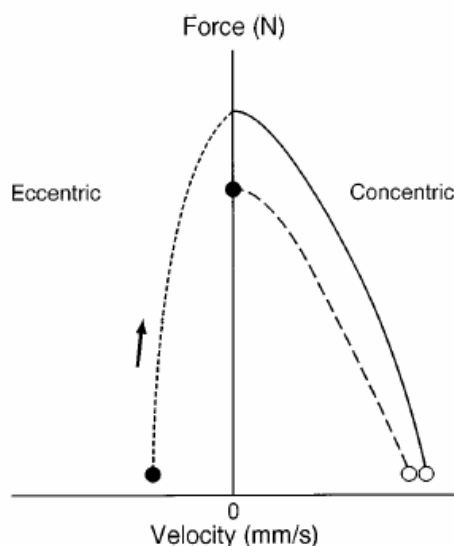
2.2 Utilizace mechanické energie při excentrické kontrakci

Při excentrické kontrakci se svaly chovají jako pružiny nebo také tlumící struktury. Jejich funkcí při excentrické kontrakci je vytváření brzdné síly, mluví se o tzv. negativní práci (Lindstedt, LaStayo, Reich, 2001, s. 256-257). Tuto negativní práci produkujeme denně při běžných činnostech jako je např. chůze (DeVita, Hortobagyi; Enoka; Heglund, Cavagna; Hoffer et al.; Lindstedt, LaStayo, Reich in LaStayo et al., 2003a, s. 558-559).

Při běžném pohybu svaly produkují téměř stejně pozitivní (zkrácení) i negativní (prodloužení) práce (Heglund, Cavagna in LaStayo et al., 2003a, s. 558-559). Při

excentrické kontrakci prodlužující se sval absorbuje mechanickou energii. Tato energie může být vydána ve formě tepla, nebo dočasně skladována jako zpětný energetický potenciál tzv. deformační energie a následně využita. Sval je aktivně prodloužen před následnou fází zkrácení (koncentrie) (Lindstedt, LaStayo, Reich, 2001, s. 256). Dochází ke kumulaci energie, která je přidána k následnému pohybu a sval produkuje větší sílu. Tento cyklus (tzv. stretch-shortening cycle) zlepšuje ekonomiku svalové práce, výzkumy ukazují, že takto přednastavený sval produkuje až o 50 % větší sílu (Hamill, Knutzen, 1995, s. 87-89). Význam tohoto tzv. stretch-shortening cycle ukazuje obr. 1.

Obr. 1 Graf závislosti rychlosti a síly při dvou skocích (Enoka, 1996, s. 2340)



Zobrazeny jsou dva skoky, kdy cílem bylo vyskočit co možná nejvýše. Prvnímu skoku (horní linka) předcházela excentrická kontrakce před koncentrickým stahem m. triceps surae a je prokazatelně vyšší. Při druhém skoku (spodní linka) byla zapojena pouze koncentrická kontrakce (Enoka, 1996, s. 2340-2341). Takto ukládaná a následně spotřebovaná energie je tedy důležitým faktorem ovlivňujícím výkon (podstata plyometrie). Z tohoto pohledu se tedy svaly chovají jako pružiny, které opakovaně absorbují a vydávají energii. Uložení energie je ale dočasné, pokud není spotřebována, je vydána ve formě tepla (Lindsted, LaStayo, Reich, 2001, s. 256-257; Hamill, Knutzen, 1995, s. 88-89).

Mechanická práce při svalové činnosti je definována jako: $E = F (-\Delta L)$, kdy F je síla a ΔL změna délky svalu. Pokud se sval zkracuje (koncentrické), ΔL je tedy záporná a výsledná práce kladná. Pokud se sval prodlužuje (excentrické), ΔL je kladná a výsledná práce záporná (negativní) (Brinkmann, Frobin, Leivseth, 2000, s. 151).

Z tohoto pohledu má excentrická kontrakce (negativní práce) menší energetickou náročnost než koncentrická, a tedy i vyšší ekonomickou účinnost proti koncentrické, vysvětlením je právě kumulace energie do elastických struktur svalu (Havlíčková, 1999, s. 11).

2.3 Specifika propioceptivní aferentace během excentrické kontrakce

Za propioceptivní aferentaci jsou zodpovědná dvě tělíska, svalové vřetenko a Golgiho tělísko. Svalové vřetenko reaguje na protažení, při protažení dochází reflexně ke kontrakci svalu (podstata napínacích reflexů). Síla odpovědi svalového vřetenka je určena rychlostí protažení. Golgiho tělíska jsou uložena na přechodu svalu do šlachy a fungují jako ochrana svalu před přetížením. K aktivaci tělísek dochází napnutím šlachy (při kontrakci svalu) (Dylevský, Druga, Mrázková, 2000, s. 219-220).

Mohutnost propioceptivní aferentace z příslušných svalů v průběhu excentrické kontrakce je vyšší než u koncentrické. Důvodem je nadprahové podráždění jak vřetenka (sval se prodlužuje), tak Golgiho tělíska (sval vyvíjí tenzi, a proto stoupá napětí na přechodu svalu a šlachy). Při koncentrické kontrakci se neudržuje zvýšená aferentace z obou typů receptorů, ale jeví reciproký vztah (Havlíčková, 1999, s. 11).

Mohutnější aferentace vede ke snížení prahu dráždivosti alfa motoneuronů, a proto se excentrická kontrakce někdy označuje jako kontrakce s nejmohutnějším nábořem motorických jednotek (Havlíčková, 1999, s. 11).

2.4 Vliv excentrické kontrakce na svalovou sílu

Svalovou sílu můžeme měřit několika způsoby. Nejčastější je měření maximální síly vyvinuté během izometrické kontrakce nebo maximální hmotnosti, jakou dokážeme jedenkrát zvednout. Svalovou sílu lze měřit i určením točivého momentu

během kontrakce (Enoka, 2008, s. 364-365). Výsledný nárůst svalové síly pak závisí na typu měření, ale také na tom, v jakém tréninkovém programu byl sval posilován (Higbie et al., 1996, s. 2173).

Kosterní svaly jsou schopny vykonat maximální sílu během excentrické kontrakce. Kontrakce se aktivně účastní svalová vlákna a pasivně také vazivové struktury svalu (Dean, 1988, s. 233). Velká síla je podnětem pro zvětšení svalové hmoty (Jensen, Fabio; LaStayo et al.; Lindstedt, LaStayo, Reich in LaStayo et al., 2003a, s. 562) i nárůst síly (Johnson; Johnson et al.; Komi, Buskirk in LaStayo et al., 1999, s. 611). Síla během excentrické kontrakce by tedy měla být nejsilnějším stimulem pro zvýšení síly svalu (LaStayo et al., 2003a, s. 562).

Nickols-Richardson et al. (2006, s. 794-795) potvrdili názor, že k většímu nárůstu svalové síly dochází po excentrickém cvičení a to u sportovců i u netrénovaných jedinců. Po 5 měsících tréninku vzrostla svalová síla u koncentricky trénovaného svalu o 18,6 % u dolní končetiny a o 12,5 % u paže, zatímco nárůst u excentricky trénovaného svalu byl téměř dvojnásobný (28,9 % u dolní končetiny a 24,6 % u paže).

Spurway et al. nechali trénovat skupinu mladých žen a mužů vždy jednu dolní končetinu koncentricky a druhou excentricky po dobu 6 týdnů. Výsledný nárůst svalové síly byl 31 % u dolní končetiny trénované excentricky a 18 % u končetiny trénované koncentricky (Spurway et al., 2000, s. 374-375).

2.4.1 Srovnání síly stahu u jednotlivých typů kontrakce

Jednotlivé typy svalových kontrakcí neprobíhají izolovaně, ale kombinují se. Izometrie typicky stabilizuje tělo a excentrie a koncentrie pracují na úrovni tzv. stretch-shortening cycle (Hamill, Knutzen, 1995, s. 83).

Tyto kontrakce jsou velmi odlišné ve spotřebě energie a vykonané síle. Excentrická kontrakce vykoná stejně velkou sílu jako další dva typy kontrakce, ale s menším počtem aktivovaných svalových vláken a tedy i s menší spotřebou kyslíku. Submaximální excentrická zátěž vyžaduje pouze asi 1/6-1/7 množství kyslíku než stejné zatížení v režimu koncentrie (Bigland-Ritchie, Woods in LaStayo et al., 1999, s. 611). Myofibrily, které jsou při excentrické kontrakci stimulovány

a protahovány jsou schopny vykonat větší sílu než je maximální izometrická síla (Edman et al. in Hamill, Knutzen, 1995, s. 83).

Při koncentrické svalové práci je vyvinutá síla vždy menší než při izometrické. Vysvětlení lze hledat na úrovni svalového vlákna, kdy o síle rozhodují počty vytvořených příčných můstků. Zatímco u izometrické kontrakce je počet příčných můstků stejný, u koncentrické dochází se vzrůstem rychlosti kontrakce ke zmenšování počtu příčných můstků (Edman in Hamill, Knutzen, 1995, s. 83).

Při excentrické kontrakci je prodloužení svalu kontrolováno kontraktilními komponenty svalu (svalovými vlákny) a pasivně také odporem elastických nekontraktilních částí svalu (vazivem). Tyto elastické komponenty přispívají k čisté síle svalu během excentrické kontrakce. Maximální vykonaná síla během excentrické kontrakce bude tedy převyšovat tu, která je vykonaná během koncentrické nebo izometrické kontrakce (Dean, 1988, s. 233-234).

2.4.2 Vztah rychlost-síla

Skutečná síla vykonaná během kontrakce závisí také na rychlosti s jakou sval mění svou délku (viz obr. 3, příloha 1, s. 50). Se vzrůstající zátěží u koncentrické kontrakce, se snižuje rychlost zkrácení, naopak pokud svaly pracují proti malému odporu, rychlost stahu se zvyšuje. Jestliže se zátěž, proti které sval provádí kontrakci, blíží k nule, je dosaženo maximální rychlosti kontrakce (Hamill, Knutzen, 1995, s. 87-88).

Vztah mezi silou a rychlostí při excentrické svalové činnosti je opačný než u kontrakce koncentrické. Excentrická svalová činnost je vyvolána antagonisty, gravitací nebo nějakou vnější silou. V prvních fázích protahování svalu, kdy je zátěž mírně větší než izometrické maximum, je rychlost protahování malá. Se vzrůstající zátěží se zvyšuje rychlost excentrické kontrakce. Při excentrické svalové činnosti se napětí zvyšuje s rychlostí prodlužování svalu. Maximální síla během excentrické kontrakce není tolik ovlivněna rychlostí prodlužování svalu (Hamill, Knutzen, 1995, s. 87-88).

Koncentrická kontrakce se uplatňuje intenzivně při hnací síle při běhu, skocích, házení. Při běžném pohybu v rámci denních činností se uplatňuje spíše kombinace koncentrických a excentrických kontrakcí (Komi in Enoka, 1996, s. 2339-2341).

2.5 Strukturální změny v důsledku excentrické kontrakce

Adaptace vzniká pokud je sval další excentrické zátěži vystaven do 1 týdne od prvního cvičení. Tato vlastnost svalu přizpůsobit se excentrické zátěži, aby se zabránilo poškození má velký význam pro klinickou praxi (Proske, Morgan, 2001, s. 333).

Změny ve svalu, které způsobují adaptaci nejsou 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 (Brockett, Morgan, Proske, 2001, s. 787-789). Druhá teorie říká, že po první intenzivní etapě excentrického cvičení jsou slabá vlákna redukována a silnější a odolnější vlákna zůstávají a mají ochranný efekt (Armstrong et al.; Fridén, Lieber in LaStayo et al., 2003a, s. 559).

Chronická excentrická zátěž způsobuje větší pevnost svalového vlákna. Tato pevnost má význam při protahování svalu, kdy chrání sval před poškozením při nadměrném tahu (Armstrong; Clarkson et al.; Ebbeling, Clarkson in LaStayo, 1999, s. 611).

2.5.1 Vliv na šlachu

Pokud dochází k brždění pohybu, na přechod sval-šlacha působí obrovské síly. Je-li tato síla větší než jakou dokáže sval sám vytvořit, může dojít k poškození svalu, šlachy nebo připojení svalu ke kosti (LaStayo et al., 2003a, s. 562).

Adaptace na excentrickou zátěž se využívá při léčbě tendinopatií, protože působí příznivě na stav svalu a šlachy. Předpokládá se, že buňky šlachy jsou stimulovány excentrickým cvičením ke tvorbě kolagenu a zvýšené fibroblastické aktivitě. Dochází také k normalizaci hladiny glykosaminoglykanů a šlacha se stává pevnější v tahu (Khan et al.; Hawary et al.; Öhberg et al. in Stasinopoulos, Stasinopoulou, Johnson,

2005, s. 946). Mezi makroskopické změny patří zejména hypertrofie šlachy (Birch et al.; Liu et al.; Woo et al.; Zamora, Marini in LaStayo et al., 2003a, s. 562). Ve šlaše pak dochází ke ztluštění kolagenních vláken a ta jsou schopna lépe zvládat vysoké napětí přenášené ze svalu na šlachu (LaStayo et al. 2003a, s. 563).

Jiní tvrdí, že excentrické cvičení působí preventivně na případná zranění a to zvýšením schopnosti svalu absorbovat energii. Zvyšuje se velikost síly, která způsobí selhání šlachy (Archambault et al.; Hasselman et al.; Plancher et al.; Stone in LaStayo et al., 2003a, s. 562).

2.5.2 Vliv na kost

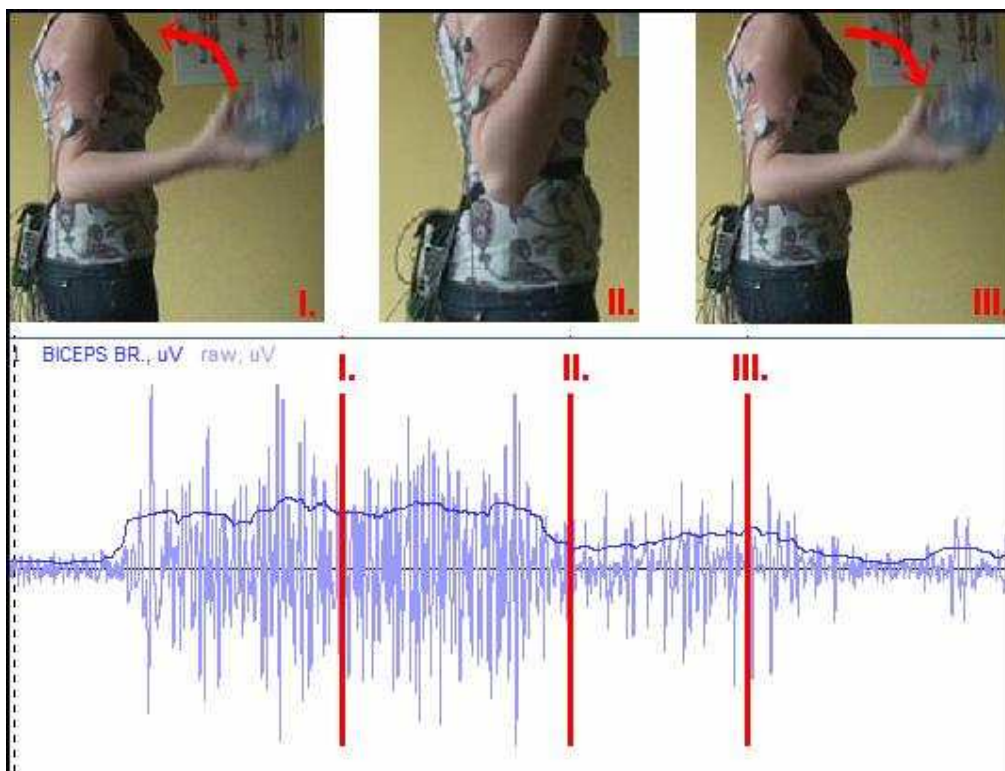
Síla a hustota kosti je ovlivněna mimo jiné tahem svalů, jejich napětím a zatížením kosti (Hawkins et al.; Vincent, Braith in LaStayo et al., 2003a, s. 562). Tvorbu kostních minerálů podporuje zejména cvičení se zátěží o vysoké síle (Chambers et al.; Lanyon in LaStayo et al., 2003a, s. 562-563). Wolffův zákon říká, že kost reaguje tak, že BMD (bone mineral density - hustota kostních minerálů) je nejvyšší v oblasti největšího působení síly na kost. Tento efekt byl pozorován i u sportovců s asymetrickou zátěží např. tenistů, kdy hrající končetina má větší BMD a je i strukturálně silnější (Haapasalo et al. in Winters-Stone, Snow, 2006, s. 1203). Excentrické silové cvičení působí na kost největší silou, lze tedy předpokládat, že nejlépe stimuluje tvorbu kostní hmoty (LaStayo et al., 2003a, s. 562).

2.6 Specifika nervového řízení během excentrické kontrakce

Jak už bylo řečeno, sval je během excentrické kontrakce schopen vyvinout maximální sílu, a to s minimální spotřebou kyslíku. Navíc během excentrické kontrakce je vyžadována nižší úroveň volní aktivace svalu, aby byla dosažena daná síla (viz obr. 4, příloha 2, s. 50) (Bigland, Lippold in Enoka, 1996, 2340-2342). V podstatě k vytvoření stejně velké síly koncentricky a excentricky je potřeba aktivace méně motorických jednotek u excentrické kontrakce. Z tohoto důvodu je také větší riziko přetížení svalu u excentrie (Moritani et al. in McHugh, 2003, s. 89). Tento fakt

dokládá i měření elektromyografického záznamu (EMG) uskutečněné v kineziologické laboratoři 10. dubna 2012 pod vedením Mgr. Kolářové (viz obr. 2).

Obr. 2 Změna elektromyografické aktivity m. biceps brachii v závislosti na typu kontrakce



I. Koncentrická kontrakce, II. Přechod mezi koncentrickou a excentrickou kontrakcí, III. Excentrická kontrakce

Adaptace nervového vlákna na excentrické cvičení se popisuje několika jevy. Ukazuje se, že dochází ke zvýšení amplitudy na EMG signálu v poměru k produkované síle (Komi, Buskirk; Hortobágyi et al. in McHugh, 2003, s. 91). Nárůst svalové síly lze zdůvodnit nárůstem aktivace svalu (nárůstem aktivních motorických jednotek), kterou lze prokázat na EMG záznamu (viz obr. 5, příloha 3, s. 51). Dochází ke snížení frekvence signálu v důsledku lepší synchronizace jednotlivých motorických jednotek (Hortobágyi, DeVita, 2000, s. 402-403).

Otázkou také je, zda nervový systém rozlišuje příkazy pro excentrickou a koncentrickou kontrakci. Usuzuje se, že typ kontrakce je dán množstvím svalové

aktivace a tedy točivým momentem. Pokud je točivý moment menší než zatížení svalu, výsledkem je excentrická kontrakce (Enoka, 1996, s. 2341-2342).

Druhým názorem je, že aktivace svalu se odlišuje v závislosti na typu kontrakce. Pokud by to tak bylo, poněkud by to komplikovalo řízení pohybu, který je složen z více typů kontrakcí. Tento názor potvrzuje mimo jiné tvrzení o odlišném náboru motorických jednotek během excentrické kontrakce, o poklesu velikosti nervových potenciálů při stimulaci tohoto typu kontrakce a o snížení aktivace svalu při maximální excentrické kontrakci (Enoka, 1996, s. 2341-2342).

3 DISKUZE

3. 1 Možnosti využití excentrických cvičení ve fyzioterapii z pohledu evidence based medicine

Z popsanych účinků a adaptačních mechanismů se nabízí využití excentrického cvičení v praxi. Je ale třeba pamatovat na možné nežádoucí účinky a vyšší riziko poškození svalu a dávkovat intenzitu cvičení opatrně (Öhberg, Alfredson, 2004, s. 468-469).

3.1.1 Entezopatie

Entezopatie vznikají v důsledku patologických změn při úponech šlach, vazů a kloubních pouzder do kosti. Entezopatie mohou vznikat náhle (akutní), nebo pozvolna (chronické) při dlouhodobém přetěžování přechodu šlachy v kost. Základním mechanismem je náhrada normálních kolagenních vláken šlachy za amorfni mucinózní hmotu (Khan in Murrell, 2002, s. 392-393).

Využití excentrických cvičení při léčbě tendinopatií navrhl jako první Stanish et al. v roce 1986. Koncept byl zaměřen na léčbu patelární tendinopatie a vycházel zejména z poznatku, že excentrie může zvýšit mechanickou pevnost šlachy (Stanish et al. in Croisier et al., 2007, s. 271).

3.1.1.1 Chronická tendinopatie Achillovy šlachy

Chronická tendinopatie Achillovy šlachy se projevuje jako bolestivé ztlustění šlachy. Nejčastěji se vyskytuje u rekreačních sportovců ve středním věku, zejména běžců v důsledku přetížení šlachy (Clement et al.; James et al.; Nelen et al.; Schepsis et al.; Welsch, Clodman in Fahlström et al., 2003, s. 327). Dříve se tendinopatie Achillovy šlachy považovala za zánětlivé postižení šlachy, dnes se od tohoto upouští a mluví se čistě o degenerativním procesu (Khan in Fahlström et al., 2003, s. 327).

Histologicky byla nalezena zvýšená hladina glykosaminoglykanů, nepravidelná struktura a uspořádání vláken, ale bez známek zánětu (Movin et al.; Alfredson et al. in Langberg et al., 2005, s. 61). V extrémním případě může dojít k částečné nebo úplné ruptuře šlachy (Khan et al. in Nørregaard et al., 2006, s. 133). Symptomy jsou zejména ranní ztuhlost a bolest zabraňující pohybu, která je největší po cvičení (Nørregaard et al., 2006, s. 133).

Mechanismem pozitivního účinku excentrických cvičení na chronické tendinopatie Achillovy šlachy se v posledních letech soustředilo hned několik autorů. Langsberg et al. se zabývali výsledky u 12 fotbalistů (6 zdravých představujících kontrolní skupinu, 6 s postižením Achillovy šlachy) v průběhu 12 týdnů trvajícího excentrického cvičení, kdy potvrdili efektivitu tohoto typu léčby. Prokázali, že excentrickým cvičením dochází ke stimulaci syntézy kolagenu typu I v oblasti poškozené šlachy. Zvýšení kolagenu typu I bylo sledováno pouze u nemocných postižených entezopatií Achillovy šlachy. Předpokládá se tedy, že homeostáza poškozených šlach je narušena a pozitivní efekt excentrického cvičení vychází ze stimulace tvorby kolagenu I v rámci reparačního procesu šlachy. To rovněž vysvětluje, proč u zdravých jedinců k těmto změnám nedošlo. Produkce kolagenu je u nich dostatečná a není porušena homeostáza. V důsledku zlepšení struktury šlachy dochází i k ústupu bolesti a adaptaci šlachy na zátěž (Langsberg et al., 2005, s. 61-65).

Öhberg a Alfredson se zabývali souvislostí entezopatie Achillovy šlachy a neovaskularizací. Pomocí ultrazvuku prokázali přítomnost nově tvořených cév v oblasti změněné struktury šlachy. Podle nich lze usuzovat, že tyto neovaskularizace mohou korelovat s bolestí šlachy (střední porce Achillovy šlachy). Demonstrovali také zastavení průtoku těmito cévami při pasivní dorzální flexi (Öhberg, Alfredson, 2004, s. 465-466). Rovněž provedení sklerotizace postižené oblasti mělo za výsledek odstranění bolesti u většiny pacientů (Öhberg, Alfredson, 2002, s. 8). Jejich studie se soustředila na souvislost mezi excentrickým cvičením a destrukcí nově tvořených cév. Při excentrickém cvičení o dostatečné intenzitě (180 opakování denně), kdy se pata nachází pod úroveň chodidla (dorsální flexe) se zastaví průtok nově tvořenými cévami, ty jsou poškozeny a dochází k jejich zániku a ústupu bolesti (Öhberg, Alfredson, 2004, s. 468-469).

Podle některých má vliv na tyto nově tvořené cévy tvorba kolagenu typu I v důsledku excentrického cvičení. Lze spekulovat, že kolagen by se mohl podílet na minimalizaci průtoku v těchto nově tvořených cévách (Langsberg et al., 2005, s. 64).

Fahlström et al. (2003, s. 327-332) vytvořili cvičební jednotku (viz příloha 4, s. 52) využívající excentrické cvičení a stretching a aplikovali ji na pacienty s bolestí ve střední porci Achillovy šlachy (78 pacientů, 101 postižených šlach) a na pacienty s úponovou bolestí této šlachy (30 pacientů, 31 postižených šlach) po dobu 12 týdnů. U skupiny s bolestí střední části šlachy došlo po absolvované léčbě k ústupu bolesti u 89 % z nich, a k návratu k dřívějšímu stupni aktivity. Zbývajících 11 % neodpovídajících na léčbu patřilo zejména ženám, často s vyšším BMI. Autoři tedy předpokládají, že nadváha a ženské pohlaví by mohlo mít souvislost s neúspěchem terapie.

U pacientů s úponovou bolestí šlachy výsledky nebyly tak dobré. Pouze 32 % šlach se zlepšilo natolik, že se pacienti vrátili na úroveň dřívějšího stupně zátěže. Podle autorů důvodem rozdílnosti výsledků této skupiny může být rozdílný zdroj bolesti (bursa, kost) a nikoliv šlacha (Fahlström et al., 2003, s. 332).

Mafi, Lorentzon a Alfredson (2000, s. 42-47) se zabývali rozdílnou efektivitou excentrického a koncentrického cvičení. Excentrický tréninkový režim byl obdobný jako u předchozí studie (viz. příloha 4, s. 52). Pacienti cvičili 2x denně po dobu 12 týdnů. Byli upozorněni, že v průběhu prvních dvou týdnů se může objevit svalová bolest a únava. Postupem času byla přidávána zátěž ve formě závaží (batohu) na zádech. Koncentrický tréninkový režim byl shodný v četnosti s excentrickým, ovšem cviky byly po několika týdnech měněny. Před léčbou měli všichni pacienti během chůze a běhu bolesti. U skupiny léčené excentrickým cvičením bolest odezněla u 82 % z nich, u skupiny léčené koncentricky pouze u 36 %. Skupina léčená excentricky tedy ukazuje prokazatelně lepší výsledky. To autoři zdůvodňují zřejmě zvýšením excentrické síly, prodloužením jednotky sval-šlacha a adaptací svalu na tah.

Zajímavé je také to, že se studie zúčastnilo 43 % pacientů nespportovců (19 ze 44), kdy se jejich pohybová aktivita skládá hlavně z chůze. Lze tedy říci, že i chůze je u lidí se sedavým stylem života dostatečná k vyvolání entezopatie Achillovy šlachy (Mafi, Lorentzon, Alfredson, 2000, s. 46).

3.1.1.2 Lateral epicondylitis

Bolest laterálního epicondylu humeru je poměrně častým jevem. Postihuje asi 3 % lidí bez ohledu na pohlaví, většinou starší 40 let (Goldie; Coonrad, Hooper; Allander; Kivi in Svernlöv, Adolfsson, 2001, s. 328). Ve většině případů bývá postižena dominantní strana (Svernlöv, Adolfsson, 2001, s. 328). Autoři, kteří používají termín epicondylitis, předpokládají přítomnost zánětu v oblasti radiálního epicondylu (Goldie; Nirschl; Power, Burke in Svernlöv, Adolfsson, 2001, s. 328). To je některými považováno za mylné, protože mikroskopické hodnocení šlachy často nevykazuje známky zánětu, ale spíše vazivové přestavby, a proto používají termín epicondylalgie (Sölveborn in Svernlöv, Adolfsson, 2001, s. 328). Radiální epicondylitida je postižení začátku extenzorů zápěstí (nejvíce m. extensor carpi radialis brevis), extenzorů prstů a m. supinator na radiálním epicondylu humeru a hlavičce radia. Nejčastější příčinou je přetížení při sportu nebo při práci (Thorson, Szabo in Finestone, Rabinovitch, 2008, s. 1115).

Po prokazatelném účinku excentrických cvičení při léčbě tendinopatie Achillovy šlachy se autoři Svernlöv a Adolfsson zabývali efektivitou těchto cvičení u laterální epicondylitidy. Třicet osm klientů rozdělili do dvou skupin, jedna byla léčena excentrickým cvičením (viz. příloha 5, s. 53) a druhá protahovací technikou kontrakce relaxace z PNF (proprioceptivní neuromuskulární facilitace) (další z doporučených konzervativních postupů). Trénink trval 12 týdnů a následné hodnocení vždy po 3, 6 a 12 měsících. K redukci bolesti a vzestupu svalové síly došlo u 71 % pacientů léčených excentricky a 39 % pacientů léčených metodou kontrakce relaxace po 12 týdnech. I po 6 a 12 měsících pak byli výsledky prokazatelně lepší u excentrie. Autoři připisují pozitivní účinky zejména větší pevnosti svalu v tahu, zvýšení svalové síly a snížení zátěže svalu v důsledku prodlužovacího účinku excentrických cvičení. Nejlepší výsledky ale podle nich bude vykazovat kombinace excentrického cvičení a strechingu (Svernlöv, Adolfsson, 2001, s. 328-334).

Dále se zabývali výzkumem zda na efektivitu excentrických cvičení má vliv délka trvání problémů. Pacienti byli rozděleni podle příznaků na skupinu s problémy déle než 1 rok a skupinu s problémy trvajících méně než 1 rok a prováděli po dobu více než tří let stejnou sadu cviků. Nicméně žádný rozdíl v úspěšnosti terapie zde nebyl prokázán (Svernlöv, Adolfsson, 2001, s. 332).

Další studie prokazující účinnost excentrie u léčby laterální epicondylitidy srovnávala efektivnost této metody s běžnou konzervativní léčbou. Léčba kontrolní skupiny zahrnovala analgetické TENS (transkutánní elektroneurostimulace), negativní termoterapii, ultrazvuk, masáže a stretching. Excentrická cvičení byla prováděna pomocí dynamometru a to zvláště pro extensory předloktí a zvláště pro m. supinator. Na počátku léčby bylo cvičení prováděno o nízké intenzitě a rychlosti, která se postupně zvyšovala. Navíc se pacienti důsledně vyhýbali bolesti. Ve srovnání s kontrolní skupinou byly výsledky ve prospěch excentrické kontrakce. Byly zjištěny:

- výraznější snížení bolestivosti,
- absence snížení svalové síly ve srovnání se zdravou stranou,
- snížení tloušťky šlachy a zlepšení její struktury v 89 % případů (hodnoceno pomocí ultrazvuku)
- a možnost pracovat, sportovat a realizovat volnočasové aktivity s výraznou úlevou symptomů (hodnoceno pomocí dotazníku o disabilitě) (Croisier et al., 2007, s. 269-275).

Podobnou studii jako předchozí prováděli také Tyler et al. Srovnávali efektivitu standardní léčby (fyzikální terapie, stretching, izotonické posilování extensorů předloktí) a efektivitu standardní léčby doplněnou čistě excentrickým posilováním. Dvacet jedna pacientů bylo rozděleno na dvě skupiny, nelišili se délkou trvání příznaků ani délkou léčby. Při excentrickém tréninku bylo využito pružné tyče (např. FlexBar), která je pro pacienty dostupnější než dynamometry využívané v ostatních studiích. Ve výsledku větší zmírnění bolesti (81 % vs. 13 %) a snížení disability (76 % vs. 13 %) bylo opět u excentrického cvičení. Zvýšení svalové síly u excentricky léčené skupiny nebylo o tolik výraznější oproti standardní léčbě. Touto studií tedy autoři došli ke stejným závěrům jako u předchozí, i když cvičební excentrický program byl odlišný. Cvičební sestava byla sestavena tak, aby ji pacienti mohli provádět doma, bez potřeby nákladných pomůcek a tedy, aby byla pro pacienty dostupnější než předchozí. (Tyler et al., 2010, s. 917-922).

3.1.1.3 Patelární tendinopatie

Patelární tendinopatie (tzv. skokanské koleno) je poměrně častá u sportů, kdy jsou kladeny velké nároky na extensory kolene. Nejvíce se tedy vyskytuje u basketbalistů, volejbalistů a atletů, kdy může být postiženo až 40-50 % sportovců. Příznakem je bolest pod patelou a to zejména po zátěži (chůze do schodů, skoky, dřepy), později je zátěž bolestí znemožněna (Cook, Khan; Ferretti; Lian et al. in Visnes, Bahr, 2007, s. 217).

Etiologie není přesně známá, ultrazvuk odhaluje změnu struktury šlachy a novotvorbu cév, zánětlivý původ nebyl prokázán (Alfredson et al.; Cook et al. in Jonsson, Alfredson, 2005, s. 847).

Mechanismus účinku je v podstatě stejný jako např. u tendinopatie Achillovy šlachy. Je ale nutné stále myslet na riziko ještě většího poškození při nadměrné zátěži šlachy (vysoké intenzitě cvičení). Je nutno dobře stanovit nebezpečnou - přílišnou zátěž a zátěž bezpečnou - léčebnou (Wasielowski, Kotsko, 2007, s. 417-419).

Jonsson a Alfredson (2005) se zabývali rozdílnou efektivností excentrického a koncentrického tréninku u 15 pacientů s dlouhodobým postižením ligamentum patelae. Rozdělení na 2 skupiny prováděli cvičební jednotku dvakrát denně po dobu 12 týdnů. Excentrický (viz příloha 6, s. 54) i koncentrický trénink se skládal z jednoho cviku prováděném ve třech setech, s 15 opakováními. Studie naplánovaná na 12 týdnů byla po 6 týdnech přerušena pro chabé výsledky v koncentricky léčené skupině a pro zvýšení bolestivosti šlachy. Dokončený excentrický trénink ukázal zmírnění bolesti a návrat k předchozí (předúrazové) zátěži u 90 % pacientů. S odstupem 33 měsíců po ukončení léčby se výsledek nezměnil a autoři prokázali dlouhodobý efekt excentrického cvičení (Jonsson, Alfredson, 2005, s. 847-850).

3.1.2 Excentrická cvičení u starší populace

Excentrická kontrakce je kontrakce s nejmenší spotřebou kyslíku, metabolické nároky jsou tak nízké, že tento způsob posílení svalů (excentrický režim) je vhodný i pro osoby starší a osoby s kardiovaskulárními potížemi. Nárůst svalové síly je možno

docílit v nízkých zátěžích, vhodných i pro osoby s obstrukčními chorobami plic nebo se srdečním selháním (LaStayo et al., 1999, s. 611).

3.1.2.1 Efektivita excentrického tréninku u sarkopenie

Ztráta svalové hmoty spojená se stárnutím organismu začíná již ve věku kolem 25 let. Udává se, že ve věku kolem 80 let člověk ztratí asi polovinu veškeré svalové hmoty (Lexell, Taylor, Sjostrom in LaStayo et al, 2003a, s. 561). Ztráta svalové síly je spojena zejména s hypomobilitou, instabilitou s větším rizikem pádů, omezením až ztrátou soběstačnosti (Hortobágyi, DeVita, 2000, s. 401-410).

Odporový trénink je prevencí proti těmto rizikům, způsobuje nárůst svalové hmoty a zvýšení svalové síly. Excentrický trénink zajišťuje velké zatížení svalu s nízkým zatížením kardiovaskulárního systému a je tedy velmi vhodný pro starší osoby s komorbiditou (LaStayo et al., 2003b, s. 561).

Efektivita byla prokázána při studii, které se účastnilo 21 seniorů (průměrný věk 80,2 let). První skupina se zúčastnila excentrického tréninku (excentrická ergometrie), kontrolní skupina potom tradičního tréninku posilování svalů na přístrojích. Biopsií m. vastus lateralis byl zjištěn 60 % nárůst průřezu svalového vlákna u excentricky trénované skupiny (oproti 41 % u klasického tréninku). Izometrická síla extenze kolenního kloubu vzrostla u excentrie o 60 % oproti 15 % u tradičního tréninku (LaStayo et al., 2003b, s. 422-423).

Jak zdůrazňuje také Hortobágyi a DeVita (2000) největší předností, kterou představuje excentrický trénink pro starší populaci je rychlejší nárůst svalové síly za nejnižší nároky na kardiovaskulární systém. Na skupině 30 žen (průměrný věk 71,4 let) testovali odpověď jejich pohybového systému na excentrické cvičení ve srovnání se standardním posilováním svalů. Po sedmi dnech tohoto cvičebního programu se měřil nárůst maximální izometrické, koncentrické a excentrické síly. Nárůst byl 1,8krát vyšší u excentricky léčené skupiny ve srovnání se standardní skupinou. Zároveň kardiovaskulární nároky (hodnocené tepovou frekvencí, tlakem krve a subjektivním vnímáním intenzity) kladené na pacienty byly nižší. Nárůst svalové síly zdůvodňují zvýšením svalové aktivity. Touto studií prokázali nárůst svalové síly během krátké doby a o nízké zátěži, proto je podle nich tento trénink

vhodný pro starší, chronicky nemocné a oslabené jedince (Hortobágyi, DeVita, 2000, s. 401-410).

3.1.2.2 Efektivita excentrického tréninku u osteopenie

Jak už bylo řečeno, velikost nárůstu nové kostní hmoty je dána zejména zatížením kosti. Síla a hustota kosti je dána místními svazky kostní tkáně, které ovlivňuje zejména vysoká síla působící na kost (Hawkins et al.; Vincent, Braith in LaStayo et al., 2003a, s. 562-563). Excentrické odporové cvičení jako cvičení vytvářející největší sílu by mohlo stimulovat novotvorbu kostní tkáně nejlépe (LaStayo et al., 2003a, s. 562-563).

V průzkumu, kdy bylo 12 žen vystaveno excentrickému silovému cvičení o maximální intenzitě pro jednu dolní končetinu a koncentrickému pro druhou končetinu po dobu 18 týdnů výsledky mluví ve prospěch excentrie. Hustota kostních minerálů vzrostla o 3,9 % u excentricky trénované skupiny oproti 1,1 % u koncentricky trénované skupiny. To potvrzuje předchozí myšlenku, že odporovaný excentrický trénink poskytuje větší stimul pro osteogenezi (Hawkins et al. in LaStayo et al., 2003a, s. 562-563).

3.1.2.3 Prevence pádů

Pády jsou obzvláště nebezpečné u starší populace, jejich následky mohou vést k chronickým komplikacím i náhlým úmrtím. Mezi nejčastější patří zejména pády ze schodů. Pro chůzi ze schodů je potřeba mít schopnost kvalitní excentrické kontrakce, potřebnou pro sestup dolů. Právě tato schopnost je u starších často narušena a přispívá k větší četnosti pádů (Bean et al.; Dickinson et al.; Hortobágyi et al. in LaStayo et al., 2003a, s. 563). Excentrická kontrakce m. quadriceps femoris se také uplatňuje výrazně při chůzi po rovině a obzvláště z kopce. Je to brzdící síla proti hmotnosti celého těla. Proto je nezbytné u starší populace zachovat kvalitní schopnost excentrické kontrakce (Havlíčková, 1999, s. 14).

Jedenácti týdenní studie, které se zúčastnilo 21 pacientů (průměrný věk 80,2 let) s větším rizikem pádů, prokázala objektivní zlepšení stability a zlepšení schopnosti chůze ze schodů a tím i snížení rizika pádů. Trénink probíhal pomocí excentrického ergometru poháněném motorem, úkolem pacientů bylo tento pohyb brzdit (LaStayo et al., 2003b, s. 419-424).

3.2 Excentrická kontrakce - využití ve sportu

3.2.1 Excentrické posilování svalu

Při posilování svalu čistě v excentrickém režimu je nutné se vyhýbat koncentrické kontrakci. Jsou tři základní modifikace, jak toho dosáhnout (Cacek, Lajkeb, Michálek, 2007, s. 18):

- a) Klasický excentrický trénink – vyžaduje přítomnost druhé osoby, nebo speciálně upravený přístroj. Partner pomáhá v koncentrické fázi zvednout závaží do horní polohy, odtud cvičící sám pomocí vlastní síly brzdí pohyb excentricky. Zátěž je tak velká, aby cvičící ubrdil pohyb v celém rozsahu. V tzv. kritickém bodě snese cvičící menší zátěž, protože dochází ke změně pákového mechanismu. Hmotnost zátěže tedy musí odpovídat maximální zátěži v kritickém bodě.
- b) Částečný excentrický (negativní) trénink – cvičení je vykonáváno v určitém rozsahu (od začátku pohybu do kritického bodu, nebo od kritického bodu do konečné pozice). Cvičící se tedy vyhne kritickému bodu a je schopen ubrdit daleko větší hmotnost než při komplexním pohybu. Tento druh tréninku se využívá i jako prevence šlachových zranění, kdy cviky jsou sestaveny tak, aby odpovídaly nejvíce namáhané oblasti u daného sportovce.
- c) Excentrický trénink 2/1 - používá se v situacích, kdy nemáme k dispozici partnera, který by nám pomáhal v koncentrické fázi cvičení. Pozitivní fázi cvičení (koncentrii) provádíme pomocí obou končetin, zápornou fázi (excentrii) pouze jednou končetinou.

Podle autorů je po excentrickém posilování svalu nutno regenerovat minimálně 72 hodin do dalšího tréninku. Jako nejvhodnější se jeví trénovat excentricky pouze jednou týdně. Hlavní výhodou je podle nich zvýšení svalového potenciálu a prevence muskuloskeletálních zranění (Cacek, Lajkeb, Michálek, 2007, s. 18).

3.2.2 Plyometrie

Plyometrické cvičení je forma tréninku, používaná zejména pro zlepšení výkonu v atletice a jiných sportech. Je založeno na principu tzv. stretch-shortening cycle. Úkolem plyometrie je zlepšení nervosvalové aktivity a rozvoj rychlých svalových vláken (pro vyvolání výbušné síly). Cvičení se nejčastěji dělí na dvě fáze – excentrické a koncentrické, někdy se popisuje třetí fáze – fáze přechodu mezi koncentrií a excentrií (tzv. amortizační fáze). Amortizační fáze je doba mezi excentrickou a výslednou koncentrickou kontrakcí. Čím je amortizační fáze delší, tím větší je ztráta uložené elastické energie. Plyometrický trénink usiluje o dosažení maximální hybné síly v co možná nejkratším čase, efekt se označuje jako výbušná síla (Chmielewski et al., 2006, s. 308-312).

3.3 Možný negativní dopad excentrického cvičení

Odpovědí na nezvyklé jednorázové excentrické cvičení je často opožděný nástup bolesti svalů (tzv. DOMS z anglického delayed-onset muscle soreness). Bolest není přítomna bezprostředně po zátěži, ale dostavuje se o několik hodin později s vrcholem kolem 48 hodin po cvičení. Dochází k poškození svalu a objevují se známky zánětu (Proske, Morgan, 2001, s. 333-334).

Tohle platí zejména pokud náhle vzrůstá intenzita nebo objem excentrického cvičení, mění se tréninkový režim nebo je vykonáván nezvyklý pohyb o vysoké intenzitě (Nosaka, Newton, 2002, s. 63-64). Tímto typickým nezvyklým pohybem je chůze z kopce, kdy extenzory kolene kontrolují tento pohyb dopředu (Whitehead et al., 1998, s. 615). Nicméně pokud excentrické cvičení je vykonáváno nejprve o nízké intenzitě a postupně dochází ke zvětšování nároků na sval, k poškození a bolesti nedochází. Pokud se bolest objeví je to tedy následek špatně vedeného tréninku (LaStayo et al., 2003a, s. 559-560).

Tento stav poškození svalů je charakterizován sníženou svalovou silou, zvýšením hladiny kreatinkinázy v séru, poškozením struktury svalového vlákna, zánětem, zvýšením aktivity proteolytických enzymů a bolestí (Stupka et al., 2001, s. 2330).

K poškození svalu dochází dvěma mechanismy. A to narušením struktury sarkomery a poškozením mechanismu spřažení excitace a kontrakce. Podle některých je nejdříve porušena sarkomera přetížením (Proske, Morgan, 2001, s. 333). Podle jiných ale jako první dochází k porušení spřažení excitace a kontrakce (Warren et al. in Proske, Morgan, 2001, s. 333).

Pokud sval produkuje stejný točivý moment při koncentrické i při excentrické kontrakci, je zapojeno méně motorických jednotek při excentrii. Proto se předpokládá větší riziko poškození svalu a dalších pojivových tkání. Tzn. méně svalových jednotek produkuje danou sílu, snáze dojde k přetížení a k poranění svalu (Armstrong, Asmussen in Fitzgerald et al., 1991, s. 17; McHugh, 2003, s. 88-89). Náchylnější k poškození jsou zejména tzv. rychlá svalová vlákna (Fridén et al. in McHugh, 2003, s. 89).

Obecně platí, že pokud dojde k poškození měkkých tkání, neměly by být vystaveny ve fázi reparace škodlivému faktoru znovu. Ale zdá se, že u excentrické kontrakce tohle neplatí. Opakované vystavení excentrickému cvičení vede naopak k menšímu poškození svalu. Dochází totiž k adaptaci svalových vláken na excentrické cvičení. K adaptaci dochází, pokud je sval další excentrické zátěži vystaven před úplným dokončením regenerace svalu. Nicméně pauza mezi cvičeními byla měla být minimálně 24-48 hodin (Nosaka, Newton, 2002, s. 63-69).

Příkladem této adaptace je člověk pravidelně chodící z kopce, který nepocítuje následnou bolest svalů. Naopak někdo vystaven excentrické zátěži výjimečně následně trpí bolestí svalů, protože svaly nejsou na tento režim adaptovány (Nosaka, Clarkson in LaStayo et al., 2003a, s. 559).

ZÁVĚR

Excentrická kontrakce představuje tzv. brzdou (decelerační) sílu (Hamill, Knutzen, 2009, s. 83). Dochází k prodlužování svalu, protože zatížení svalu je větší než vyvíjená síla. Zdrojem tohoto zatížení je nejčastěji gravitace nebo antagonistický sval (Billeter, Hoppeler in Hamill, Knutzen, 1995, s. 83). Ve srovnání s koncentrickou kontrakcí sval provádí negativní práci (Brinkmann, Frobin, Leivseth, 2000, s. 151). Velký význam při excentrické kontrakci má kumulace energie do elastických struktur svalu. Při excentrické kontrakci (negativní práci) dochází k uvolnění mechanické energie, ta je buď vydána ve formě tepla, nebo ji sval absorbuje a využije při následné kontrakci. Tento cyklus absorpce energie při excentrii a o to silnější následné kontrakce (koncentrické) se nazývá stretch-shortening cycle a je využíván mimo jiné při plyometrii (LaStayo et al, 2003a, s. 558-559; Lindstedt, LaStayo, Reich, 2001, s. 256-257).

Další specifika excentrické kontrakce jsou mohutnější propioceptivní aferentace z důvodu podráždění jak svalových vřetének, tak Golgiho tělísek (Havlíčková, 1999, s. 11). Velký význam pro praxi má také spotřeba kyslíku a energetická náročnost excentrické kontrakce ve srovnání s ostatními typy. Excentrická zátěž vyžaduje pouze asi 1/6-1/7 množství kyslíku než stejné zatížení v režimu koncentrie (Bigland-Ritchie & Woods in Lastayo et al, 1999, s. 611). Excentrie vyžaduje také nižší úroveň řízení. V podstatě k vytvoření stejně velké síly koncentricky a excentricky je potřeba nižší volní aktivace právě u excentrické kontrakce a pracuje méně motorických jednotek svalu (Enoka, 1996, 2340-2342). Tato energetická nenáročnost a malá zátěž na kardiovaskulární aparát je hlavní výhodou, kterou představuje excentrická kontrakce oproti jiným typům kontrakce (LaStayo et al., 2003a, s. 558-560).

Při excentrické kontrakci je prodloužení svalu kontrolováno kontraktilními komponenty svalu (svalovými vlákny) a pasivně také odporem elastických nekontraktilních částí svalu (vazivem). Tyto elastické komponenty přispívají k čisté síle svalu, která je největší právě během excentrické kontrakce. Maximální vykonaná síla během excentrické kontrakce bude tedy převyšovat tu, která je vykonaná během koncentrické nebo izometrické kontrakce (Dean, 1988, s. 233-234). Z tohoto důvodu je excentrie využívána pro posilování svalů u sportovců, ale s výhodou i u starší

populace (nenáročnost na kardiovaskulární systém) (LaStayo et al., 2003a, s. 561, Hortobágyi, DeVita, 2000, s. 401).

Velký význam pro praxi mají adaptační mechanismy svalu na opakované excentrické cvičení. Sval se adaptuje změnou své klidové délky, dochází ke zvýšení počtu sarkomer v sérii a je schopen se více prodloužit (Brockett, Morgan, Proske, 2001, s. 787-789). Pevnost, ke které vlivem excentrického cvičení dochází má význam jako ochrana svalu při nadměrném protažení (Armstrong; Clarkson et al.; Ebbeling, Clarkson in LaStayo, 1999, s. 611).

Excentrické cvičení se využívá zejména při léčbě tendinopatií (Achilovy šlachy, ligamentum patellae, extensorů zápěstí). Předpokládá se, že buňky šlachy jsou stimulovány excentrickým cvičením ke tvorbě kolagenu a zvýšené fibroblastické aktivitě. Dochází také k normalizaci hladiny glykosaminoglykanů a šlacha se stává pevnější v tahu (Stasinopoulos, Stasinopoulou, Johnson, 2005, s. 944). Ve šlaše pak dochází ke ztluštění kolagenních vláken a ta jsou schopna lépe zvládat vysoké napětí přenášené ze svalu na šlachu. Jiní tvrdí, že excentrické cvičení působí preventivně na případná zranění a to zvýšením schopnosti svalu absorbovat energii. Zvyšuje se velikost síly, která způsobí selhání šlachy (LaStayo et al., 2003a, s. 562).

Vliv na kost je využívána při osteopenii a osteoporóze. Excentrické odporové cvičení působí na kost pravděpodobně největší silou, proto nejlépe stimuluje tvorbu kostní hmoty (LaStayo et al., 2003a, s. 562).

Špatně vedený trénink, nebo příliš vysoká zátěž při excentrické kontrakci může mít negativní dopad na sval. Při excentrické kontrakci je zapojeno méně motorických jednotek než při stejné zátěži při koncentrické kontrakci. Proto je tu vyšší riziko přetížení a poškození svalu. S přetížením při excentrickém cvičení je spojen termín opožděného nástupu bolesti svalů (anglický termín DOMS). Bolest svalů se objevuje několik hodin po zátěži, s vrcholem po 48 hodinách. Tento stav je charakterizován bolestí, ztrátou svalové síly a sval jeví známky zánětu (Proske, Morgan, 2001, s. 333-334). Proto by mělo správné excentrické cvičení začínat nejprve od nízkých zátěží, s regenerací alespoň 24-48 hodin. Sval má čas se adaptovat a nedojde k přetížení jako při jednorázové intenzivní excentrické zátěži (LaStayo et al., 2003a, s. 559-560).

BIBLIOGRAFICKÉ A ELEKTRONICKÉ ZDROJE

- ABBOTT, B. C., BIGLAND, B., RITCHIE, J. M. 1952. The physiological cost of negative work. *The Journal of Physiology* [online]. 117, 380-390. [cit. 20. únor 2012]. ISSN 1469-7793. Dostupné z: <http://jp.physoc.org/content/117/3/380.full.pdf>.
- ALTER, M. 1952. *Science of stretching*. Champaign, IL: Human Kinetic Publisher. ISBN 0-87322-090-0.
- BERNÁŠKOVÁ, K. 2000. Fyziologie svalů. In R. ROKYTA et al. *Fyziologie: pro bakalářská studia v medicíně, přírodovědných a tělovýchovných oborech*. 1. vyd. Praha: ISV nakladatelství. ISBN 8085866455.
- BRINKMANN, P., FROBIN, W., LEIVSETH, G. 2002. *Musculoskeletal Biomechanics*. 3rd. ed.. Stuttgart: Thieme. ISBN 3-13-130051-5.
- BROCKETT, C. L., MORGAN, D. L., PROSKE, U. 2001. Human hamstring muscles adapt to eccentric exercise by changing optimum length. *Medicine & Science in Sport & Exercise* [online]. 33, 783-790. [cit. 13. březen 2012]. ISSN 1530-0315. Dostupné z: <http://www.ecse.monash.edu.au/mucbe/Projects/Pubpdfs/2001/BrockettMSSE.pdf>.
- CACEK, J., LAJKEB, P., MICHÁLEK, J. 2007. Trénink síly v atletice (metoda izometrická a excentrická). *Atletika*. Praha: Česká atletika s.r.o. 59(4), 17-19. ISSN 0323-1364.
- CHMIELEWSKI, T. L., MYER, G. D., KAUFFMAN, D., TILLMAN, S. M. 2006. Plyometric Exercise in the Rehabilitation of Athletes: Physiological Responses and Clinical Application. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* [online]. 36, 308-319. [cit. 20. březen 2012]. ISSN 0190-6011. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16715831>.
- CROISIER, J. L., FOILDART-DESSALLE, M., TINANT, F., CRIELAARD J. M., FORTHOMME, B. 2007. An isokinetic eccentric programme for the management of chronic lateral epicondylar tendinopathy. *British Journal of Sports Medicine* [online]. 41, 269-275. [cit. 26. listopad 2011]. ISSN 14730480. Dostupné z: <http://msscenershop.info/content/41/4/269.abstract>.
- DEAN, E. 1988. Physiology and Therapeutic Implications of Negative Work. *Physical Therapy* [online]. 68, 233-237. [cit. 12. březen 2012]. ISSN 1538-6724. Dostupné z: <http://ptjournal.apta.org/content/68/2/233.short>.
- DYLEVSKÝ, I., DRUGA, R., MRÁZKOVÁ, O. 2000. *Funkční anatomie člověka*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing. ISBN 8071696811.

- ENOKA, R. M. 2008. *Neuromechanics of Human Movement*. 4th ed. Champaign: Human Kinetics. 2008. ISBN 13: 9780736066792.
- ENOKA, R. M. 1996. Eccentric contractions require unique activation strategies by the nervous system. *Journal of Applied Physiology* [online]. 81, 2339-2346. [cit. 12. leden 2012]. ISSN 1522-1601. Dostupné z: <http://jap.physiology.org/content/81/6/2339.short>.
- FAHLSTRÖM, M., JONSSON, P., LORENTZON, R., ALFREDSON, H. 2003. Chronic Achilles tendon pain treated with eccentric calf-muscle training. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* [online]. 11, 327-333. [cit. 25. leden 2012]. ISSN 1433-7347. Dostupné z: <http://www.springerlink.com/content/ghftl9nk5ywqlv89/>.
- FINESTONE, H. M., RABINOVITCH, D. L. 2008. Tennis elbow no more: practical eccentric and concentric exercise to heal the pain. *Canadian Family Physician* [online]. 54, 1115-1116. [cit. 16. duben 2011]. ISSN 1715-5258. Dostupné z: <http://www.cfp.ca>.
- FITZGERALD, K. G., ROTHSTEIN, J. M., MAYHEW, T. P., LAMB, R. L. 1991. Exercise-Induced Muscle Soreness After Concentric and Eccentric Isokinetic Contractions. *Physical Therapy* [online]. 71, 505-513. [cit. 19. prosinec 2011]. ISSN 1538-6724. Dostupné z: <http://www.phyther.net/content/71/7/505.short>.
- HAMILL, J., KNUTZEN, K. M. 1995. *Biomechanical Basis of Human Movement*. Baltimore: Williams & Wilkins. ISBN 0-68-303863-X.
- HAVLÍČKOVÁ, L. 1994. *Fyziologie tělesné zátěže I. Obecná část*. Praha: Nakladatelství Karolinum. ISBN 80-7184-875-1.
- HAVLÍČKOVÁ, L. 1999. Význam excentrické kontrakce pro posturu. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*. Praha: Česká lékařská společnost J. E. Purkyně. 6(1), 9-14. ISSN 1803-6597.
- HIGBIE, E. J., CURETON, K. J., WARREN, G. L., PRIOR, B. M. 1996. Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *Journal of Applied Physiology* [online]. 81, 2173-2181. [cit. 16. prosinec 2011]. ISSN 1522-1601. Dostupné z: <http://www.jappl.org/content/81/5/2173.full.pdf+htm>.
- HORTOBÁGYI, T., DEVITA, P. 2000. Favorable Neuromuscular and Cardiovascular Responses to 7 Days of Exercise With an Eccentric Overload in Elderly Women. *Journal of Gerontology: Biological Sciences* [online]. 55A, B401-B410. [cit. 15. březen 2012]. ISSN 1758-535X. Dostupné z: <http://biomedgerontology.oxfordjournals.org/content/55/8/B401.short>.
- JONSSON, P., ALFREDSON, H. 2005. Superior results with eccentric compared to concentric quadriceps training in patients with jumper's knee: a prospective randomised study. *British Journal of Sports Medicine* [online]. 39, 847-850.

[cit. 3. listopad 2011]. ISSN 14730480. Dostupné z: <http://www.msscenershop.info/content/39/11/847.full>.

KLIKA, E. 1986. *Histologie*. 1. vyd. Praha: Avicenum.

LANGBERG, H., ELLINGSGAARD, H., MADSEN, T., JANSSON, J., MAGNUSSON, S. P., AAGAARD, 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* [online]. 17, 61-66. [cit. 12. prosinec 2011]. ISSN 1600-0838. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16787448>.

LASTAYO, P. C., EWY, G. A., PIEROTTI, D. D., JOHNS, R. K., LINDSTEDT, S. L. 2003b. The Positive Effects of Negative Work: Increased Muscle Strength and Decreased Fall Risk in a Frail Elderly Population. *The Journal of Gerontology* [online]. 58A, M419-M424. [cit. 26. leden 2012]. ISSN 1079-5006. Dostupné z: <http://biomedgerontology.oxfordjournals.org/content/58/5/M419.short>.

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* [online]. 45, R611-R615. [cit. 20. leden 2012]. ISSN 1522-1539. Dostupné z: <http://ajpregu.physiology.org/content/276/2/R611.full.pdf+html>.

LASTAYO, P. C., WOOLF, J. M., LEWEK, M. D., SNYDER-MACKLER, L., REICH, T., LINDSTEDT, S. L. 2003a. Eccentric Muscle Contractions: Their Contribution to Injury, Prevention, Rehabilitation, and Sport. *Journal of Ortopaedic & Sports Physical Therapy* [online]. 33, 557-571. [cit. 20. leden 2012]. ISSN 0190-6011. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14620785>.

LINDSTED, S. L., LASTAYO, L. C., REICH, T. E. 2001. When Active Muscles Lengthen: Properties and Consequences of Eccentric Contractions. *News in Physiological Sciences* [online]. 16, 256-261. [cit. 3. prosinec 2011]. ISSN 1522-161X. Dostupné z: <http://physiologyonline.physiology.org/content/16/6/256.full>.

MAFI, N., LORENTZON, R., ALFREDSON, H. 2000. Superior short-term results with eccentric calf muscle training compared to concentric training in a randomized prospective multicenter study on patients with chronic Achilles tendinosis. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* [online]. 9, 42-47. [cit. 13. leden 2012]. ISSN 1433-7347. Dostupné z: <http://www.springerlink.com/content/52whjgllldmelxy09/>.

MCHUGH, M. P. 2003. Recent advances in the understanding of the repeated bout effects: the protective effect against muscle damage from a single bout of eccentric exercise. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* [online]. 13, 88-97. [cit. 20. března 2012]. ISSN 1600-0838. Dostupné z: http://www.bodybuilders.gr/data/main/forum/mainuploadsfolder/zilzil/201012014429_Repeated_Bout_Effect.pdf.

- MURRELL, G. A. 2002. Understanding tendinopathies. *British Journal of Sports Medicine* [online]. 36, 392-393. [cit. 28. únor 2012]. ISSN 14730480. Dostupné z: <http://msscenershop.info/content/36/6/392.full>.
- NICKOLS-RICHARDSON, S. M., MILLER, L. E., WOOTTEN, D. F., RAMP, W. K., HERBERT, W. G. 2007. Concentric and eccentric isokinetic resistance training similarly increases muscular strength, fat-free soft tissue mass, and specific bone mineral measurements in young women. *Osteoporosis International* [online]. 8(6), 789-796. [cit. 20. leden 2012]. ISSN 1433-2965. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17264975>.
- NØRREGAARD, J., LARSEN, C. C., BIELER, T., LANGBERG, H. 2006. Eccentric exercise in treatment of Achilles tendinopathy. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* [online]. 17, 133-138. [cit. 2. prosinec 2011]. ISSN 1600-0838. Dostupné z: http://prdupl02.ynet.co.il/forumfiles_2/23378056.pdf.
- NOSAKA, K., NEWTON, M. 2002. Repeated Eccentric Exercise Bouts Do Not Exacerbate Muscle Damage and Repair. *The Journal of Strength and Conditioning Research* [online]. 16, 117-122. [cit. 29. leden 2012]. ISSN 1064-8011. Dostupné z: <http://ukpmc.ac.uk/abstract/MED/11834116>.
- ÖHBERG, L., ALFREDSON, H. 2004. Effects on neovascularisation behind the good results with eccentric training in chronic mid-portion Achilles tendinosis? *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* [online]. 12, 465-470. [cit. 2. prosinec 2011]. ISSN 1433-7347. Dostupné z: <http://www.springerlink.com/content/0h1yegg4grq89u2y/>.
- ÖHBERG, L., ALFREDSON, H. 2002. Ultrasound-guided sclerosing of neovessels in painful chronic Achilles tendinosis: pilot study of a new treatment. *British Journal of Sports Medicine* [online]. 36, 173-177. [cit. 10. prosinec 2011]. ISSN 14730480. Dostupné z: <http://bjssportmed.com/content/36/3/173.full>.
- PROSKE, U., MORGAN, D. L. 2001. Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *The Journal of physiology* [online]. 537, 333-345. [cit. 29. leden 2012]. ISSN 1469-7793. Dostupné z: <http://jp.physoc.org/content/537/2/333.full>.
- SPURWAY, N. C., WATSON, H., MCMILLAN, K., CONNOLLY, G. 2000. The effect of strength training on the apparent inhibition of eccentric force production in voluntarily activated human quadriceps. *European Journal of Applied Physiology* [online]. 82, 374-380. [cit. 12. prosinec 2011]. ISSN 1439-6327. Dostupné z: [http://www.koljavoelkers.de/literatur/articles/Spurway et al \(2000\)](http://www.koljavoelkers.de/literatur/articles/Spurway et al (2000)).
- STASINOPOULOS, D., STASINOPOULOU, K., JOHNSON, M. I. 2005. An exercise programme for the management of lateral elbow tendinopathy. *British Journal of*

- Sports Medicine* [online]. 39, 944-947. [cit. 12. březen 2011]. ISSN 14730480. Dostupné z: <http://www.msscenershop.info/content/39/12/944.abstract>.
- STUPKA, N., TARNOPOLSKY, M. A., YARDLEY, N. J., PHILLIPS, S. M. 2001. Cellular adaptation to repeated eccentric exercise-induced muscle damage. *Journal of Applied Physiology* [online]. 91, 1669-1678. [cit. 29. leden 2012]. ISSN 1522-1601. Dostupné z: <http://jap.physiology.org/content/91/4/1669.short>.
- SVERNLÖV, B., ADOLFSSON, L. 2001. Non-operative treatment regime including eccentric training for lateral humeral epicondylalgia. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* [online]. 11, 328-334. [cit. 26. listopad 2011]. ISSN 1600-0838. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1034/j.1600-0838.2001.110603.x/abstract>.
- TROJAN, S. 1999. *Lékařská fyziologie*. 3. vyd. Praha: Grada Publishing. ISBN 80-7169-788-5.
- 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 epicondylitis: A prospective randomized trial. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* [online]. 19, 917-922. [cit. 26. listopad 2011]. ISSN 1058-2746. Dostupné z: <http://www.alimed.com/AlimedManager/Downloads/File/Tim%20Tyler%20Study.pdf>.
- VISNES, H., BAHR, R. 2007. The evolution of eccentric training as treatment for patellar tendinopathy (jumper's knee): a critical review of exercise programmes. *British Journal of Sports Medicine* [online]. 41, 217-223. [cit. 3. listopad 2011]. ISSN 14730480. Dostupné z: <http://bjsm.bmj.com/content/41/4/217.short>.
- WASIELEWSKI, N. J., KOTSKO, K. M. 2007. Does Eccentric Exercise Reduce Pain and Improve Strength in Physically Active Adults With Symptomatic Lower Extremity Tendinosis? A Systematic Review. *Journal of Athletic Training* [online]. 42(3), 409-421. [cit. 20. listopad 2011]. ISSN 1062-6050. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1978463/>.
- WHITEHEAD, N. P., ALLEN, T. J., MORGAN, D. L., PROSKE, U. 1998. Damage to human muscle from eccentric exercise after training with concentric exercise. *The Journal of Physiology* [online]. 512, 615-620. [cit. 3. listopad 2011]. ISSN 1469-7793. Dostupné z: <http://jp.physoc.org/content/512/2/615.short>.
- WILMORE, J. H., COSTILL, D. L. 2004. *Physiology of sport and exercise*. 3rd ed. Hong Kong: Human Kinetics. ISBN: 0-7360-4489-2.
- WINTERS-STONE, K. M., SNOW, C. M. 2006. Site-specific response of bone to exercise in premenopausal women. *Bone* [online]. 39, 1203-1209. [cit. 2. prosinec 2011]. ISSN 8756-3282. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S8756328206005631>.

SEZNAM ZKRATEK

ADP	adenosindifosfát
ATP	adenosintrifosfát
BMD	bone mineral density
Ca ²⁺	vápenatý kationt
cm	centimetr
CO ₂	molekula oxidu uhličitého
CP	kreatinfosfát
DOMS	delayed onset muscle soreness
EMG	elektromyografie
H ₂ O	molekula vody
K ⁺	draselný kationt
kg	kilogram
KJ	kilojoul
kys.	kyselina
m	metr
m.	musculus
mm	milimetr
mV	milivolt
m/s	metr za sekundu
Na ⁺	sodný kationt
např.	například
nm	nanometr
obr.	obrázek
O ₂	molekula kyslíku
P	fosfát
pN	pikonevton
PNF	proprioceptivní neuromuskulární facilitace
s	sekunda
s.	strana
TENS	transkutánní elektroneurostimulace

tzv.	tak zvaný
ozn.	to znamená
μm	mikrometr
μm^2	mikrometr čtverečný
$^{\circ}\text{C}$	stupeň Celsia

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Graf závislosti rychlosti a síly při dvou skocích.....	20
Obr. 2 Změna elektromyografické aktivity m. biceps brachii v závislosti na typu kontrakce.....	26
Obr. 3 Maximální svalová síla ve srovnání s rychlostí svalové kontrakce.....	50
Obr. 4 Rozdíl mezi svalovou aktivací při koncentrické a excentrické kontrakci nutné pro dosažení dané síly.....	50
Obr. 5 Záznam z povrchové elektromyografie m. vastus lateralis, m. biceps femoris a m. vastus lateralis před (A) a po sedmidenním excentrickém tréninku (B)	51
Obr. 6 Výchozí pozice	52
Obr. 7 Excentrická kontrakce se semiflektovaným kolenem	52
Obr. 8 Zvýšení zátěže pomocí batohu neseném na zádech.....	53
Obr. 9 Excentrické cvičení při laterální epicondylitidě (9a výchozí pozice, 9b konečná pozice).....	53
Obr. 10 Výchozí pozice (A), konečná pozice (B).....	54

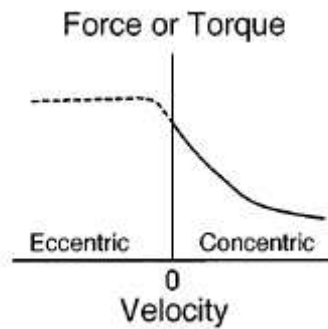
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 - Obr. 3 Maximální svalová síla ve srovnání s rychlostí svalové kontrakce.	50
Příloha 2 - Obr. 4 Rozdíl mezi svalovou aktivací při koncentrické a excentrické kontrakci nutné pro dosažení dané síly.....	50
Příloha 3 - Adaptace nervového systému	51
Příloha 4 - Cvičební jednotka při tendinopatii Achillovy šlachy.....	52
Příloha 5 - Excentrické cvičení u laterální epicondylitidy.....	53
Příloha 6 - Excentrické cvičení při jumper's knee.....	54

PŘÍLOHY

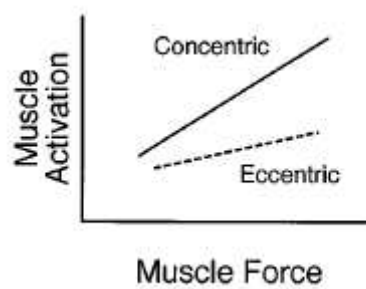
Příloha 1

Obr. 3 Maximální svalová síla ve srovnání s rychlostí svalové kontrakce (Enoka, 1996, s. 2340)



Příloha 2

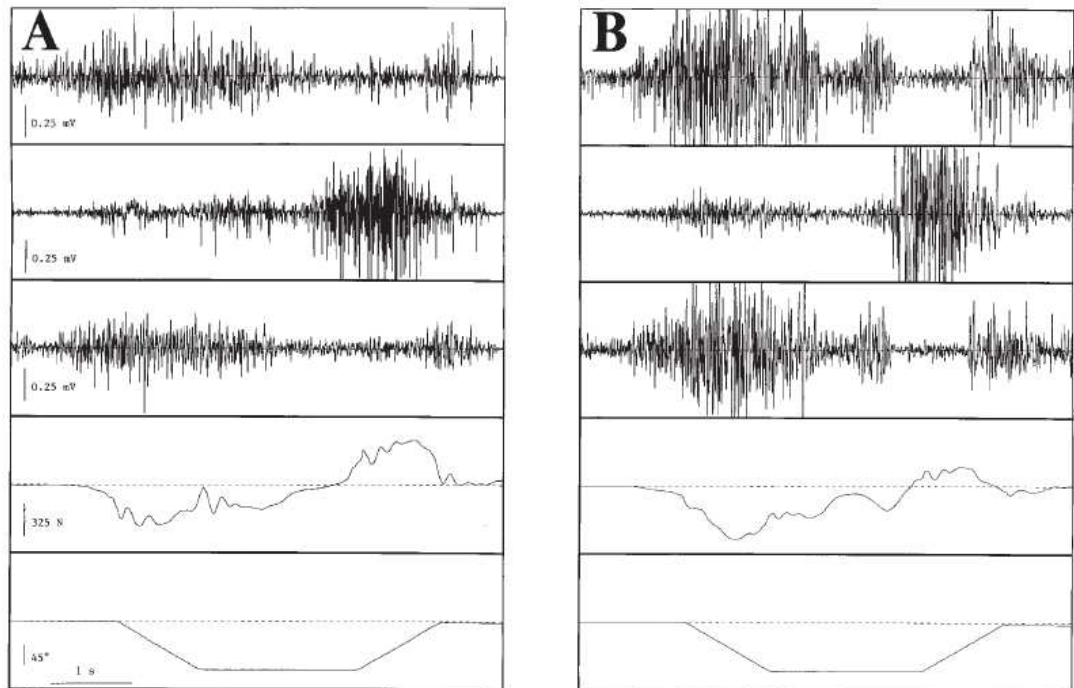
Obr. 4 Rozdíl mezi svalovou aktivací při koncentrické a excentrické kontrakci nutné pro dosažení dané síly (Enoka, 1996, s. 2340)



Příloha 3 - Adaptace nervového systému

Prvními příznaky adaptace na odporové cvičení je adaptace na neurální úrovni. Následující EMG záznam (viz obr. 5) ukazuje adaptaci na 7 dní trvající excentrický trénink. Sledujeme stav před začátkem týdenního tréninku (obr. 5 A) a po 7 dnech (obr. 5 B) a aktivitu m. vastus lateralis, m. biceps femoris a m. vastus medialis (shora dolů), dále produkovanou sílu a míru flexe kolenního kloubu u 81leté ženy (Hortobágyi, DeVita, 2000, s. 403).

Obr. 5 Záznam z povrchové elektromyografie m. vastus lateralis, m. biceps femoris a m. vastus lateralis před (A) a po sedmidenním excentrickém tréninku (B) (Hortobágyi, DeVita, 2000, s. 403)



Příloha 4 - Cvičební jednotka při tendinopatii Achillovy šlachy

Při výchozí pozici (viz. obr. 6) stojí pacient celou váhou na postižené dolní končetině, která je v plantární flexi. Odtud provádí kontrolovanou excentrickou kontrakci a pata se pohybuje pod úroveň schodu. Cvik je prováděn ve dvou modifikacích – s lehce flektovaným kolenem (viz. obr. 7) a s extendovaným kolenem. Návrat zpět do výchozí pozice pacient provádí za pomoci druhé dolní končetiny nebo za pomoci rukou (snažíme se vyvarovat koncentrické kontrakci postižené končetiny). cviky provádíme ve třech setech s 15 opakováními denně. Zvětšit zátěž lze pomocí činek nebo pomocí závaží (batohu) neseném na zádech (viz obr. 8, s. 53) (Fahlström et al., 2003, s. 239-240).

Obr. 6 Výchozí pozice (Fahlström et al., 2003, s. 239)



Obr. 7 Excentrická kontrakce se semiflektovaným kolenem (Fahlström et al., 2003, s. 239)



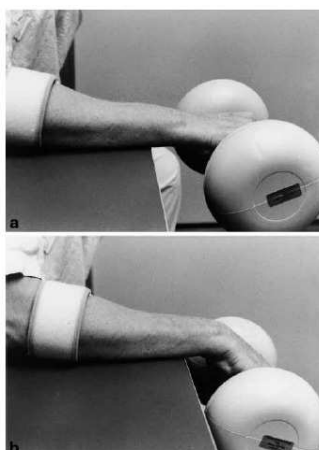
Obr. 8 Zvýšení zátěže pomocí batohu neseném na zádech (Fahlström et al., 2003, s. 240)



Příloha 5 - Excentrické cvičení u laterální epicondylitidy

Excentrický tréninkový režim byl modifikován dle programu z roku 1984 (Curwin, Stanish in Svernlöv, Adolfsson, 2001). Na zahřátí autoři aplikují aktivní pohyb zápěstím bez zátěže po dobu 2-3 minut. Následuje protahování extenzorů předloktí třikrát po dobu 30 s. Excentrické cvičení (viz obr. 9) provádíme ve 3 setech s 5 opakováními. Následuje závěrečné protažení (Svernlöv, Adolfsson, 2001, s. 328).

Obr. 9 Excentrické cvičení při laterální epicondylitidě (9a výchozí pozice, 9b konečná pozice) (Svernlöv & Adolfsson, 2001, s. 328)



Příloha 6 - Excentrické cvičení při jumper's knee

Výchozí pozicí (viz obr. 10A) je stoj na postižené dolní končetině na šikmé desce (úhel alespoň 25°). Z této pozice je koleno pomalu flektováno (viz. obr. 10B) do asi 70° flexe. Návrat do výchozí pozice provedeme pomocí druhé dolní končetiny, při oboustranném poškození za pomoci rukou. Snažíme se maximálně vyhnout koncentrické kontrakci (Johnsson & Alfredson, 2005, s. 848).

Obr. 10 Výchozí pozice (A), konečná pozice (B) (Johnsson & Alfredson, 2005, s. 848).

