

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
FAKULTA TĚLOVÝCHOVY A SPORTU

**Vliv teploty vody na rychlost zotavení při opakovaném
izometrickém výkonu.**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:

Mgr. Jiří Baláš, Ph.D.

Vypracoval:

Bc. Jan Škoda

Praha, červen 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou diplomovou práci zpracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité literární zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne

Podpis

.....

.....

Evidenční list

Souhlasím se zapůjčením své diplomové práce ke studijním účelům. Uživatel svým podpisem stvrzuje, že tuto diplomovou práci použil ke studiu a prohlašuje, že ji uvede mezi použitými literárními prameny.

Jméno a příjmení: Fakulta/katedra: Datum vypůjčení: Popis:

Poděkování

Rád bych poděkoval Mgr. Jiřímu Balášovi, Ph.D. a Mgr. Janu Kodejškovi za jejich cenné rady a poskytnutý čas, který mi věnovali při realizaci této závěrečné práce.

Abstrakt

Název: Vliv teploty vody na rychlost zotavení při opakovaném izometrickém výkonu.

Cíl: Cílem je posoudit vliv teploty vody při ponoření předloktí na rychlost zotavení při opakovaném izometrickém výkonu.

Metody: Pět mužů z řad studentů FTVS (průměrný věk 22 ± 3 let) absolvovalo tři měření s opakovanou zátěží do vyčerpání s různým druhem odpočinku. Zátěž představovaly tři série intermitentních izometrických kontrakcí flexorů prstů do vyčerpání s 20 min odpočinkem. Odpočinek byl reprezentován ponořením předloktí do studené vody (8°C ; 15°C ;) a pasivním odpočinkem.

Výsledky: Reliabilita měření byla $rel=0,79$ se směrodatnou odchylkou $SD= 27,3s$ a chybou měření $SEM= 12,5s$. Nejméně účinnou metodou zotavení bylo pasivní zotavení. Pokles času mezi 1 a 2 respektive 3 kontrakcí byl 37s respektive 35s. Pro ponořování do 15°C vody v rámci fáze zotavení došlo ke zlepšení o 43s ve druhé kontrakci a o 27s ve třetí kontrakci. 8°C voda byla nejefektivnějším způsobem zotavení, kde došlo k nárůstu délky kontrakce o 53s ve druhé kontrakci a o 66s ve třetí kontrakci oproti první kontrakci.

Závěr: Ponořování do studené vody (CWI) vedlo k významně rychlejšímu zotavení po intermitentním izometrickém výkonu do vyčerpání ve srovnání s pasivním odpočinkem. Ponořování do 8°C vody bylo efektivnější než ponořování do 15°C vody.

Klíčová slova: ponořování do studené vody, únava, zotavení, silové schopnosti, ochlazování

Abstract

Title: The influence of water temperature on the rate of recovery during repeated isometric exercise.

Objectives: The aim of this thesis is to assess the effect of water temperature on immersion of forearm to water for the sake of speeding up the recovery process during repeated isometric performance.

Methods: Five male subjects from the students of FTVS (average age 22 ± 3 years) underwent three measurements with repeated exercise to exhaustion with various kinds of rest periods. The exercise was represented by three series of intermittent isometric contraction of the finger flexors until exhaustion with 20 minutes rest period. The rest period was represented by the immersion of forearm into cold water (8°C ; 15°C ;) as well as by a passive rest. Saturation O_2 of saturated hemoglobin (SmO_2) was monitored by the spectrometer throughout the entire measurements at flexor digitorum profundus.

Results: The reliability of measurements was $\text{rel}=0,79$ with standard deviation $\text{SD}=27,3\text{s}$ and standard measurement error $\text{SEM}=12,5\text{s}$. The least effective method of recovery was passive recovery. Decrease in the time between the first, second and third contraction respectively was 35s, 34s respectively. Immersion in 15°C water under recovery phase led to improvement in the second contraction by 43s and by 27s in the third contraction. 8°C water was most effective recovery method. This increased the length of contraction in the second contraction by 53s and by 66s in a third contraction compared to the first contraction.

Conclusion: Cold water immersion (CWI) leads to significantly faster recovery process after intermittent isometric exercise until exhaustion if compared to a passive recovery. Immersion in 8°C water during the recovery phase is more effective than immersion in 15°C water.

Keywords: cold water immersion, fatigue, recovery, strength abilities, cooling

Obsah

1	Úvod	9
2	Teoretická část.....	10
2.1	Svalová tkáň.....	10
2.2	Typy svalových vláken	11
2.3	Histologie kosterního svalového vlákna	12
2.4	Svalová kontrakce.....	15
2.5	Typy svalových kontrakcí	16
2.6	Metabolické krytí.....	17
2.7	Nervová tkáň.....	20
2.8	Řízení svalové kontrakce (řízení motoriky CNS i PNS)	23
2.9	Únava.....	25
2.10	Zotavení	29
2.11	Silové schopnosti	33
3	Analytická část	37
3.1	Cíl práce	37
3.2	Hypotézy.....	37
3.3	Úkoly.....	37
3.4	Metodika	37
3.5	Výsledky.....	40
4	Diskuse.....	44
5	Závěr	46
6	Použitá literatura	47
7	Přílohy.....	52

Seznam zkratek

CWI – cold water immersion (ponořování do studené vody)

CNS – centrální nervová soustava

PNF – periferní nervová soustava

ATP – adenosin trifosfát

ADP – adenosin difosfát

AMP – adenosin monofosfát

CP (PCr) – creatin fosfát

CK – creatin kynáza

ANS – autonomní nervový systém

RM – repeat maximum (opakovací maximum)

Tn – troponin

SR – sarkoplazmatické retikulum

1 Úvod

Naše práce navazuje na bezpočet studií zabývajících se problematikou zotavovacích procesů. Ideální partie pro cílené měření zatížení a následných zotavovacích procesů se jeví předloktí ruky. Při vyvolání izometrické kontrakce zavěšením na lištu při otevřeném úchopu lze jednotlivé svaly úspěšně palpovat. Vzhledem k tomu, že studie poukazují na skutečnost nelinearity vztahu spotřeby kyslíku a srdeční frekvence je nutné zvolit jiné měřicí techniky k zachycení dějů na lokální úrovni.

V rámci rozvoje moderní medicíny a pokroku v oblasti technologií se dnešním studentům naskýtá možnost použití moderních technologií v oblasti sportovního výkonu. Již za samozřejmost se v dnešní době považuje sledování tréninkových parametrů jako je tepová frekvence pomocí sporttestrů. Hodnoty srdeční frekvence a jejich snadné vyhodnocování dávají trenérům specialistům, ale i laické veřejnosti poměrně přesné hodnoty o tréninkovém zatížení. Doba se posunula a je zde nástup zařízení monitorující další lidské fyziologické procesy v reálném čase bez invazivních zásahů. V rámci našeho experimentu budeme monitorovat lokální saturaci kyslíku v kosterních svalech, cévách a jejich průtok. Monitorování těchto procesů nám pomáhá pochopit dynamiku a průběh zotavovacích procesů.

2 Teoretická část

2.1 Svalová tkáň

Svalová tkáň je specializovaná na pohyb. Tato tkáň vytváří aktivní pohybový aparát, který je řízen nervovou soustavou. Skládající se z podlouhlých a smrštitelných elementů. V sarkoplazmě (plazma smrštitelných elementů) jsou kontraktilní fibrily tzv. myofibrily. Svalová tkáň se vyvíjí původně ze středního zárodečného listu. V lidském těle je přibližně 600 svalů, ovšem většina z nich jsou svaly párové. Procentuální váhové zastoupení se u jednotlivých pohlaví liší. U mužů je to průměrně 36% hmotnosti a u žen 32% hmotnosti těla. Svaly jsou prostřednictvím tuhého fibrózního vaziva nazývaného šlacha připojeny většinou ke kosti, ale i ke kůži či ke kloubnímu pouzdru. Podle Čiháka (2001) rozeznáváme tři základní druhy svalové tkáně:

2.1.1 Svalstvo hladké

Hladké svalstvo je řízeno autonomními nervy. Uprostřed buňky má jedno jádro. Obsahuje podélné kontraktilní myofibrily složené z menších myofilament. Hladké svalstvo má i za klidného stavu určité svalové napětí neboli tonus. Zejména vnitřní orgány jsou tvořeny tímto typem svalové tkáně. V řadě orgánových soustav může docházet k rytmickému stahování a uvolňování této tkáně např. peristaltika tenkého střeva nebo peristaltický posun sousta jícnem.

2.1.2 Svalstvo příčně pruhované

Základní stavební jednotkou je svalové vlákno, které je mnohoaderné. Co se týče délky svalových vláken je zde velká variabilita. Od nejdelších svalových vláken m. sartorius, která jsou 12 cm až 15 cm dlouhá až po velmi krátká svalová vlákna například okohybných svalů. Každé vlákno je obaleno vazivovým obalem zvaným sarkolema. Příčné pruhování patrné v mikroskopu je způsobeno strukturálním uskupením myofibril v opticky světlejší a tmavší proužky. Krom typologie svalových vláken hraje roli z hlediska rychlosti kontrakce a síly kontrakce i anatomické uspořádání daného svalu.

2.1.3 Svalstvo srdeční příčně pruhované

Tento specifický druh svalové tkáně tvoří pouze jeden jediný sval v lidském těle. Myokard neboli srdeční svalovina se v mikroskopu jeví jako síť vláken navzájem propojená šikmými plazmatickými můstky. Tento typ spojení se nazývá interkalární disk. Tato spojení rozdělují síť srdeční svaloviny do jednojaderných funkčních celků „vláken“. V rámci srdečního svalu existuje ještě jeden specializovaný typ svalových vláken, který je součástí převodního systému srdečního. Tento systém zajišťuje šíření nervového vzruchu srdeční svalovinou.

2.2 Typy svalových vláken

Pro účely naší práce je nezbytné si podrobněji představit jednotlivé typy svalových vláken u příčně pruhované svalové tkáně. Lidské kosterní svaly se skládají ze tří základních typů svalových vláken. Podle Martiniho a kol. (2006) můžeme svalová vlákna kategorizovat takto:

2.2.1 Rychlá vlákna

Rychlá svalová vlákna se kontrahují rychlostí 0,01s. Jsou dlouhá a obsahují hustě zastoupené myofibrily, velké zásoby glykogenu a relativně málo mitochondrií. Únava se v těchto vláknech šíří rychleji, protože velký počet myofibril spotřebovává masivně ATP a kvůli relativnímu malému počtu mitochondrií nedochází tak rychlé resyntéze ATP. Pro označení tohoto typu vláken se také často používají pojmy: bílá vlákna, rychlá glykolytická vlákna a Typ II x.

2.2.2 Pomalá vlákna

Podle Martiniho a kol. (2006) tyto vlákna mají zhruba poloviční délku než vlákna rychlá a rychlost kontrakce je asi třikrát pomalejší než dosáhnou maximální úrovně kontrakce po předešlé nervové stimulaci. Pomalá vlákna jsou uzpůsobena k odolávání únavě zatímco rychlá vlákna už jsou dávno unavená. Důležitým rysem je počet zastoupeným mitochondrií v matrix vlákna. Dalším důvodem schopnosti odolávat únavě je lepší kapilární síť kolem těchto vláken, tím pádem mají dramaticky lepší zásobení kyslíkem než rychlá vlákna, což umožňuje větší mitochondriální aktivitu. Masivní zastoupení červeného pigmentu myoglobinu hraje také svou přesnou roli. Tento protein je strukturou podobný krevnímu hemoglobinu a obě tyto molekuly jsou schopny vázat molekuly kyslíku. Tato vlákna obsahují značné rezervy kyslíku, které mohou být mobilizovány během kontrakce. Důvodem proč jsou kosterní svaly tmavě

červené je převážné zastoupení pomalých svalových vláken. V literatuře se pro popis těchto vláken používají následující pojmy: červená vlákna, pomalá oxidativní vlákna nebo Typ I.

2.2.3 Přejídná vlákna

Tyto svalová vlákna jsou jakýmsi přechodem mezi výše popsány. Morfologická stavba těchto vláken se více blíží vláknům rychlým pro jejich malý obsah myoglobinu. Vlákna jsou obklopena širší kapilární sítí a dovedou lépe odolávat únavě než vlákna rychlá. Jiné literární zdroje tyto vlákna nazývají: rychlá oxidativní vlákna nebo Typ II.

Vlastnosti	Pomalá	Střední	Rychlá
Velikost	Krátká	Střední	Dlouhá
Tonus	Nízký	Střední	Vysoký
Rychlost kontrakce	Pomalá	Rychlá	Rychlá
Odolávání únavě	Vysoké	Střední	Nízké
Barva	Červená	Růžová	Bílá
Obsah myoglobinu	Vysoký	Nízký	Nízký
Kapilární zásobení	Husté	Střední	Malé
Mitochondrie	Mnoho	Středně	Málo
Obsah glykolytických enzymů v sarkoplazmě	Malé	Vysoké	Vysoké
Substráty využívané pro vznik ATP během kontrakce	Tuky, karbohydráty, aminokyseliny (aerobně)	Primárně karbohydráty (anaerobně)	Karbohydráty (aerobně)
Alternativní pojmenování	Typ I	Typ II	Typ II – x

Tab. 1: Vlastnosti svalových vláken kosterního svalu (Maritini a kol, 2006).

2.3 Histologie kosterního svalového vlákna

Kosterní svalová tkáň je nositelem oné jedinečné vlastnosti kontrahovat a relaxovat. Mechanismus samotné svalové kontrakce je složitý a nelze vysvětlit před vymezením základních morfologických struktur a jejich funkcí.

2.3.1 Myofibrily

Myofibrily jsou základní stavební jednotkou svalového vlákna, která je zodpovědná za ony jedinečné vlastnosti svalové tkáně. Myofibrily jsou jednotky schopné kontrakce a relaxace. Každá myofibrila je 1 až 2 μm široká. Jsou navzájem odděleny sarkoplazmatickým retikulem. Myofibrily se primárně skládají ze dvou základních typů bílkovinných filament, aktinu a myozinu. Strukturální uspořádání aktinu a myozinu se pod mikroskopem jeví jako pruhovaná struktura (Macintosh a kol., 2006).

2.3.2 Myofilamenta

Rozeznáváme dva základní druhy myofilament. Aktinové filamentum, které tvoří izotropní světlý proužek. V literatuře se můžeme setkat také s označením lehké případně tenké filamentum. Druhým typem je filamentum myozinové neboli těžké či tlusté, které tvoří tmavý anizotropní proužek (Macintosh a kol., 2006).

2.3.2.1 Aktin

Aktin jsou dvě polymerová vlákna stočená do dvoušroubovice. Základní stavební jednotkou je F – aktin, který tvoří globulární řetězec monomerů G – aktin. Tento řetězec je strukturálně asymetrický a každý G – aktin nese vazné místo pro myozin. Aktinová filamenta jsou zakotvena do Z – linie (Junqueira, 1997).

2.3.2.2 Tropomyozin

Tropomyozin jsou dva polypeptidové řetězce obtáčeující aktinové podjednotky. Každá molekula tropomyozinu přesahuje 7 molekul aktinu a obsahuje vazné místo pro troponinový komplex (Junqueira, 1997).

2.3.2.3 Troponin

Troponin je komplex tří podjednotek TnT, TnC a TnI. Tento komplex je přichycen na specifickém místě molekuly tropomyozinu. TnT je podjednotkou, která se váže na tropomyozin. TnC obsahuje vazné místo pro Ca^{2+} ionty. TnI omezuje interakci mezi aktinem a myozinem (Junqueira, 1997).

2.3.2.4 Myozin

Se skládá ze dvou identických těžkých řetězců a dvou párů řetězců lehkých. Těžký řetězec myozinu je tvořen dvěma navzájem spletenými molekulami tyčinkového vzhledu obsahující klubkovité výběžky. Každá tato „hlavička“ obsahuje vazné místo pro ATP a vykazuje takzvanou ATPázovou aktivitu (kapacita pro hydrolýzu ATP).

Mezi tenkými a tlustými filamenti existují můstky, které se přímo účastní přeměny chemické energie na mechanickou (Junqueira, 1997).

2.3.3 Sarkomera

Jak bylo popsáno výše, myofibrily jsou svazky tenkých a těžkých filament. Tato filamta jsou organizována do opakujících se funkčních jednotek, zvaných sarkomery. Jedna myofibrila se skládá přibližně z desetitisíc sarkomer, které dále obsahují proteiny stabilizující polohu filament a poslední složkou jsou proteiny regulující interakci mezi lehkými a těžkými filamenti. Dle funkčního uspořádání rozlišujeme následující části sarkomery (Martini a kol., 2006):

- světlý I – proužek (izotropní) → aktin; ve svém středu má Z – linii
- tmavý A – proužek (anizotropní) → myozin; rozlišujeme tři části:
 1. M – linie: centrální část, kde jsou těžká filamenta spojena se sousedními proteinem, toto spojení stabilizuje pozici těžkých filament
 2. H – proužek: světlé části na obou stranách M – linie obsahuje pouze těžká filamta
 3. Zóna překrytí: místo překrytí těžkých a lehkých filament. V této oblasti jsou lehká filamta vmezeřena mezi těžká filamta. Jedno lehké filamentum je obklopeno třemi těžkými a každé těžké šesti lehkými filamenti.

2.3.4 Tubulární systém

Poprvé na existenci sítě kanálků uvnitř svalových vláken upozornil v roce 1902 Ital E. Veratti, ale teprve po objevení elektronového mikroskopu (Franzini-Armstrong & Porter, 1964) byly definovány dvě spolu související struktury (Macintosh a kol., 2006).

2.3.4.1 Sarkoplazmatické retikulum (SR)

Svalová kontrakce je závislá na dostupnosti Ca^{2+} iontů SR a svalová relaxace je závislá na jejich odstranění. Tento jev je regulován specifickou organelou zvanou sarkoplazmatické retikulum. Skládá se z cisteren hladkého endoplazmatického retikula obklopující každou myofibrilu. Nervově zajištěná depolarizace sarkoplazmatického retikula zajistí uvolnění Ca^{2+} iontů. Tento jev je zahájen

speciálním nervovým spojením na povrchu svalové buňky. Kontrakce byla jednotná jak na povrchu tak ve středu je kosterní svalstvo vybaveno systémem příčných tubulů. Cisterny jsou navzájem propojeny v místě spojení každého A – I proužku v každé sarkomeře, kde předávají depolarizační impulz sarkoplazmatickému retikulu. Toto místo bývá označováno jako triáda (Junqueira, 1996).

2.3.4.2 Transverzální T – Tubuly

T – tubuly propojují transversálně longitudinální sarkoplazmatické retikulum. Jejich funkcí je zajištění rozvodu vzruchu od povrchu svalu do jeho středu (Macintosh a kol., 2006).

2.3.5 Mitochondrie

Mitochondrie jsou buněčné orgány označované jako energetické centrum buňky. Objeveny byly německým patologem Richardem Atlmannem v devadesátých letech 18. stol. Pod elektronovým mikroskopem jsou 1 až 2 μm velké a nacházejí se nejčastěji v oblasti Z – linie sarkomery v oblasti jádra a na přechodu motorické ploténky. Mitochondrie se skládá ze dvou membrán. Vnitřní membrána tvoří „přepážky“, mezi kterými je mitochondriální matrix. V matrix se uskutečňují děje Krebsova cyklu. Matrix také obsahuje kopie vlastní mitochondriální DNA. V cytoplazmatické matrix jsou obsažena granula glykogenu. Tato granula jsou hlavním zdrojem energie svalových vláken. Lipidové kapénky obsahující vyšší mastné kyseliny a triacylglycerol jsou často v blízkosti mitochondrií. Tyto látky jsou dodatečným zdrojem energie (Macintosh a kol., 2006).

2.4 Svalová kontrakce

První zmínku o svalové kontrakci přinesl světu H. Weber v roce 1935, kdy nastínil dodnes přijímanou hypotézu o skluzu filament a svalové kontrakci. Tato teorie byla následně zkoumána a ověřena (Hanson and Huxley, 1953). Další vědeckou obcí přijímanou teorií o svalové kontrakci je tzv. „cross-bridge“ teorie (Huxley, 1963). Tato teorie objasňuje mechanismy na molekulární úrovni a můžeme ji rozdělit do následujících kroků:

1. Vyplavení Ca^{2+} iontů ze SR a jejich navázání na TnC.

2. Posun molekuly troponinu mimo vazné místo na G – aktinu.
3. Obnažení vazných míst na G – aktinu umožní navázání „hlaviček“ myozinu → formují „cross-bridge“.
4. Navázání ATP na myozinové „hlavičky“ následuje rozštěpení ATP na ADP a P. Následně dochází k posunu myozinových „hlaviček“ směrem k M – linii.
5. Příchodem další molekuly APT dochází k uvolnění „cross-bridge“ vazby a myozinová „hlavička“ je připravena vytvořit novou vazbu s G – aktinem.
6. Tento princip se opakuje až do okamžiku zpětné resorpce Ca^{2+} iontů do SR nebo do vyčerpání energetických zásob.

2.5 Typy svalových kontrakcí

Průběh síly kontrakce svalu a jeho zkracování závisí na zátěži, výchozí délce sv. vlákna, vnějších podmínkách a akčním vzorci motoneuronu. Výsledkem je svalová kontrakce dosahující proměnné síly v průběhu kontrakce. V případě, že se během kontrakce zafixuje síla stahu, jde o takzvanou izometrickou kontrakci. V případě, že se síla stahu mění, ale nemění se délka svalového vlákna, hovoříme o tzv. izometrické kontrakci (Kittnar, 2011). Na základě délky svalu rozlišujeme tři základní typy svalové kontrakce (Hamill, Knutzen, 1995):

2.5.1 Izometrická

V případě aktivity svalu narůstajícího vnitřního tonusu, bez ohledu na vnější změnu výchozí pozice, nazýváme tuto kontrakci izometrickou (Hamil, Knutzen, 1995). Při tomto typu kontrakce se nemění vzdálenost začátku a úponu svalu. Lze tedy konstatovat, že nedochází ke změně délky svalu. Hamil a Knutzen (1995) uvádějí jako příklad stupeň flexe trupu při práci svalů proti gravitaci.

2.5.2 Koncentrická

V případě koncentrické kontrakce svaly aktivně vyvíjejí sílu a dochází ke zkracování jejich délky. Zatížení svalu je tedy nižší než vyvíjená síla svalem (Havlíčková, 1999). Příčně pruhované kosterní svalstvo má schopnost se zkrátit až o 50 – 70 % jejich původní délky. Majoritní část všech pohybů vzhůru je obstarávána koncentrickou kontrakcí za neustálého překonávání gravitace. Svaly vykonávající koncentrickou

kontrakci můžeme považovat za iniciátory pohybu vyvíjející práci (Hamill, Knutzen, 1995). Molekulární podstatou tohoto typu kontrakce vystihuje teorie „cross – bridge“ tzv. teorie můstků, která byla zmíněna výše (Wilmore, Costill, 2004).

2.5.3 Excentrická kontrakce

Nastane-li situace, kdy zatížení svalu je větší než svalová síla, dochází k natahování (prodlužování) svalu. Tento princip kontrakce nazýváme kontrakcí excentrickou. Původem tohoto vnějšího zatížení je nejčastěji gravitace. Excentrická kontrakce nastává většinou, když se tělesný segment pohybuje směrem dolů a vykonává tzv. negativní práci. Pohyb je svaly spíše kontrolován než-li iniciován. Excentrická kontrakce je zapojován při brždění pohybu (Hamill, Knutzen, 1995).

Excentrická kontrakce nepodléhá klasickému modelu svalové kontrakce. V průběhu kontrakce jsou zapojovány bílkovinné struktury tinin a desmin. Z – linie jsou navzájem propojené pomocí vláken tininu, který se zkracuje v úsecích, kde není fixován na myozinová filamenta. Tímto principem je vyvíjena tenze na Z – linie a sarkomera se prodlužuje (Havličková, 1999).

2.6 Metabolické krytí

Každé svalové vlákno obsahuje přibližně 15 miliard těžkých filament. V průběhu kontrakce svalového vlákna každé myozinové filamentum rozloží 2500 molekul ATP za sekundu. Protože i sebemenší kosterní sval obsahuje tisíce svalových vláken jsou nároky na spotřebu ATP enormní. Existují tři základní způsoby metabolického krytí ATP –CP systém, anaerobní glykolýza a aerobní glykolýza. Využití jednotlivých systémů se kombinuje. U krátkodobých výkonů převládá ATP – CP systém s anaerobní glykolýzou. U střednědobých výkonů cca 2 – 11 min je energie získávána formou anaerobní glykolýzy. U činnosti vytrvalostního charakteru se jedná o oxidativní fosforylaci (Martini a kol., 2006).

2.6.1 ATP-CP systém

Primární funkce ATP je transport energie z místa na místo, spíše než tvorba energetických zásob, jelikož množství energie na pokrytí průběhu svalové kontrakce je nemožné mít pouze ve formě molekul ATP je zde zastoupen další makro energetický substrát.

V klidové fázi svaly produkují větší množství ATP než potřebují. ATP poté přechází v zásobní prvek kreatin. Kreatin je molekula, kterou organismus syntetizuje z fragmentů aminokyselin. Následná degradace kreatinu za účasti ATP vytváří další makro energetický fosfát kreatin-fosfát PCr a ADP.

Velká část zásob ATP je spotřebovávána na udržování náležitých sodíkových a draslíkových rovnovážných potenciálů prostřednictvím Na^+/K^+ – ATPázy, což zajišťuje šíření akčního potenciálu svalovou buňkou.

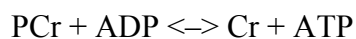
V průběhu kontrakce myozinové „hlavičky“ se hydrolyzou rozkládá ATP na ADP (adenosin difosfát) a organický fosfát za uvolnění energie. Následná resyntéza ADP na ATP probíhá sloučením ADP a CP. Vzniká ATP a kreatin.

Enzym napomáhající této reakci je fosfo-kreatin kináza (CPK). Při poškození svalových vláken dochází k úniku toho enzymu do krevního řečiště. Vysoká koncentrace CPK v krvi indikuje vážné svalové poškození.

(Martini a kol., 2006)

2.6.2 Anaerobní glykolýza

Dominantní cestou k resyntéze ATP je degradace PCr a svalového glykogenu na laktát a vodíkové ionty. Refosforylace ADP na ATP za pomoci PCr za vzniku Cr nám spolehlivě zajistí energetické krytí. PCr se syntetizuje z glukózy obsažené ve svalovém glykogenu. Štěpením jedné molekuly glukózy se získají tři molekuly ATP, přičemž molekulární atomová hmotnost ATP je $M_r = 507$ a relativní molekulová hmotnost glukózy $M_r = 180$. Z tohoto faktu vyplývá, že je vhodnější udržovat zásoby na úrovni glukózy obsažené v svalovém glykogenu. Glykogen je osmoticky málo aktivní molekulou, proto je ideální zásobní látkou (Zhang et al., 2006).



Přesný mechanismus řízení rozkladu glykogenu ve svalových buňkách během fáze velkého energetického výdeje je stále zcela neobjasněn (Katz et al., 2003). V průběhu zatížení dochází k akumulaci laktátu, v případě vysoké spotřeby ATP. Vodíkové ionty se kumulují paralelně s ionty laktátu a tím dochází k poklesu pH na lokální úrovni na hodnoty $\sim 7,0$ až $\sim 6,5$. Nevýhodou tohoto způsobu energetického krytí je menší výtěžnost ATP z molekuly glukózy než v případě aerobního přístupu. Konkrétně 3 ATP pro anaerobní cestu a 38 ATP pro aerobní (Fitts, 1994). Vyčerpání svalového

glykogenu může být limitní pro svalovou výkonost v průběhu dlouhého zatížení jako je například maratonský běh (Allen et al., 2008).

Studie celých svalů či svalových skupin poukázaly na fakt, že zásoba intracelulárního ATP ve svalech během zátěže neklesá pod ~ 60%. Avšak studie jednotlivých svalových vláken poukázaly na fakt, že může dojít k znatelným výkyvům této hladiny. Například při maximální cyklistické zátěži bylo ATP redukováno na ~20% klidové hodnoty (Westerblad et al., 2010).

Anaerobní energetický systém se uplatňuje v situacích, kdy je intenzita pohybu tak vysoká (téměř maximální), že nelze pracujícím svalům dodávat dostatek kyslíku. Je to vlastně pohotovostní systém, který organismu umožňuje krátkodobě pracovat ve vysoké intenzitě. Pokud dojde k nahromadění laktátu a vodíkových iontů znamená to konec pohybu nebo jeho výrazné zpomalení. Po skončení takto intenzivního pohybu trvá 20-180 minut, než se všechny přebytečný laktát zpracuje za pomoci Coriho cyklu a než dojde k návratu vnitřního prostředí k normálním hodnotám. Tepová frekvence se pohybuje přes 180 tepů za minutu (Neumann a kol., 2005).

2.6.3 Aerobní glykolýza

Při mírné až střední intenzitě zatížení a době trvání delší než 90s je energie na svalovou práci získávána aerobní cestou tzv. oxidativním způsobem. Při tomto způsobu energetického krytí se nezvyšuje hladina kyseliny mléčné a vodíkových iontů, a proto je kapacita oxidativního systému teoreticky neomezená. Způsob hrazení energetických výdajů je dán především typem pohybové činnosti. Podkladem tohoto energetického systému je aktivita pomalých svalových vláken kosterního svalu Typ I (Havlíčková, 1994).

Aerobní systém potřebuje 2-3 minuty k úplnému nastartování. Na začátku delšího pohybu probíhá hrazení energie z glykogenu a z tuků současně a jejich vzájemný podíl závisí na naší trénovanosti a na intenzitě pohybu. Například při dlouhém běhu vyšší intenzitou se glykogen aktivuje dříve, ale postupem času je podíl tuků stále větší a organismus si tak vlastně chrání zbývající zásoby glykogenu. Tepová frekvence se pohybuje do 150 tepů za minutu (Tvrzník, Škorpil, Soumar, 2006).

Glukóza (glykogen) + 38 P + 38 ADP + 6 O₂ → 6 CO₂ + 44 H₂O + 38 ATP

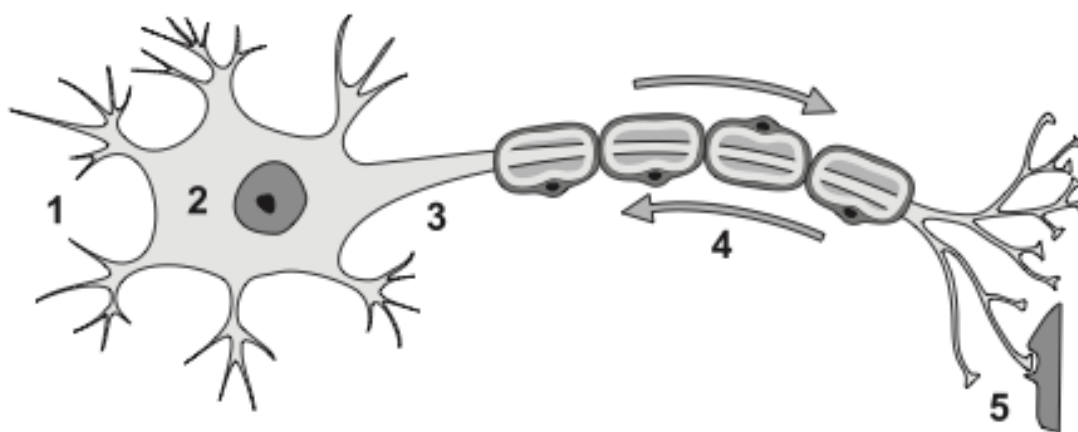
Kys. mléčná + 130 P + 130 ADP + 23 O₂ → 16 CO₂ + 146 H₂O + 130 ATP

2.7 Nervová tkáň

Základní stavební jednotkou nervové tkáně je specializovaná buňka nazývaná neuron. Nervový systém člověka obsahuje nejméně 10 miliard neuronů. Z anatomického hlediska můžeme rozdělit nervovou tkáň na centrální nervový systém (CNS) skládající se z mozku a míchy. Periferní nervový systém (PNS) skládající se z nervových vláken a shluků nervových buněk tzv. ganglií. Po stránce strukturální rozlišujeme dva základní typy nervových buněk. Prvním typem jsou neurony obsahující zpravidla velké množství výběžků, které vedou nervový vzruch. Buňky podpůrné a ochranné jsou označovány jako neuroglie. Neuroglie se podílí na výživě a obranných dějích neuronů převážně v centrální části nervové soustavy (Junqueira, 1997).

2.7.1 Motoneuron

Motoneurony neboli motorické neurony mají za úkol kontrolovat efektorové orgány např. svalová vlákna a exokrinní a endokrinní žlázy. Z morfologického hlediska rozlišujeme tyto základní struktury. Tělo buňky neboli perikaryum je centrem buňky a je schopno také přijímat impulz. Dendrity, bohatě větvené výběžky, vedou vzruch dostředivě. Motoneurony mají jediný dlouhý výběžek zvaný axon, vedoucí vzruch odstředivě a je zakončen terminálním větvením (Martini a kol., 2006).



Obr. 1: Schématický náčrt motoneuronu: 1 – dendrity; 2 – tělo neuronu; 3 – axon; 4 – myelinová pochva; 5 – terminální větvení axonu (Gardiner et al., 2006).

2.7.1.1 Nervosvalové spojení (synapse)

Místo styku mezi motoneuronem a svalovým vláknem je vysoce specializovaná oblast, kde dochází k přeskoku nervového vzruchu z nervového vlákna na sval. Je-li axon stimulován a vzruch dosáhne koncové části axonu, je schopen podráždění přenést na další článek řetězce. Následným článkem může být jak další neuron tak žlázočná buňka či pro nás důležitý sval. Tato dynamická polarizace je závislá na specializované struktuře zvané synapse. K synaptickému kontaktu dochází mezi neurony a svalovými či žlázočnými buňkami. Většina synapsí v rámci CNS je však tvořena mezi dendritem a axonem nebo mezi tělem buňky a axonem (Junqueira, 1997).

Synapse se skládá z koncové membrány, přilehlé části mezibuněčného prostoru tzv. synaptické štěrbině a postsynaptické membrány. Tato membrána patří buď k dendritu, parikaryu, axonu jiného neuronu nebo k membráně svalové buňky (žlázočné). Vzdálenost obou membrán v synaptické štěrbině je 20 – 30 nm. V tomto místě jsou membrány pevně fixovány pomocí denzních filament. Zakončení axonů je charakteristické přítomností četných synaptických váček. Základními mediátory ve váčkách jsou norepinefrin a acetylcholin. Tyto látky jsou souhrnně nazývané neurotransmitery (Gardiner et al., 2006).

Vlastní děj přenosu vzruchu začíná depolarizací membrány axonu, následně vstoupí do presynaptické části spojení a otevře paměťové kanály pro vstup Ca^{2+} . Ionty vápníku vstupují do buňky a aktivují posun synaptických vesikul směrem k synaptické membráně. Váčky (vesikuly) splývají s membránou a jejich obsah (mediátor - neurotransmitter) se vylévá do synaptické štěrbině. Mediátory se vážou na receptory na postsynaptické membráně a otevírají membránové kanály. Tím dochází k přenosu vzruchu napříč synapsí (Petrovický, 2002).

2.7.2 Autonomní nervový systém (ANS)

Autonomní nervový systém odpovídá za zásobení kyslíkem, vodou, živinami, stopovými prvky a působí na všechny orgánové systémy, proto je často nazýván jako logistika ostatních systémů. ANS je převážně nezávislý na vědomých funkcích CNS, proto ho nazýváme autonomní (Jandová, 2009).

2.7.3 Regulační funkce autonomního nervového systému

ANS je v dnešní době považováno za centrum řízení homeostatických regulačních systémů a uznává se jeho význam pro přizpůsobování aktivit vnitřních orgánů momentálním požadavkům organismu jako celku.

- Zásobení všech orgánů, buněk a tkání kyslíkem.
- Zásobení všech orgánů, buněk a tkání živinami.
- Zásobení všech orgánů, buněk a tkání hormony a působky.

ANS vyhodnocuje informace z vnitřního prostředí, reaguje na vnější podněty, zabezpečuje humorální složku a funkce žláz dohromady se zpětným propojením s CNS (Jandová, 2009).

2.7.3.1 Funkce autonomního nervového systému

Autonomní nervový systém je podle Jandové (2009) zodpovědný za následující funkce organismu:

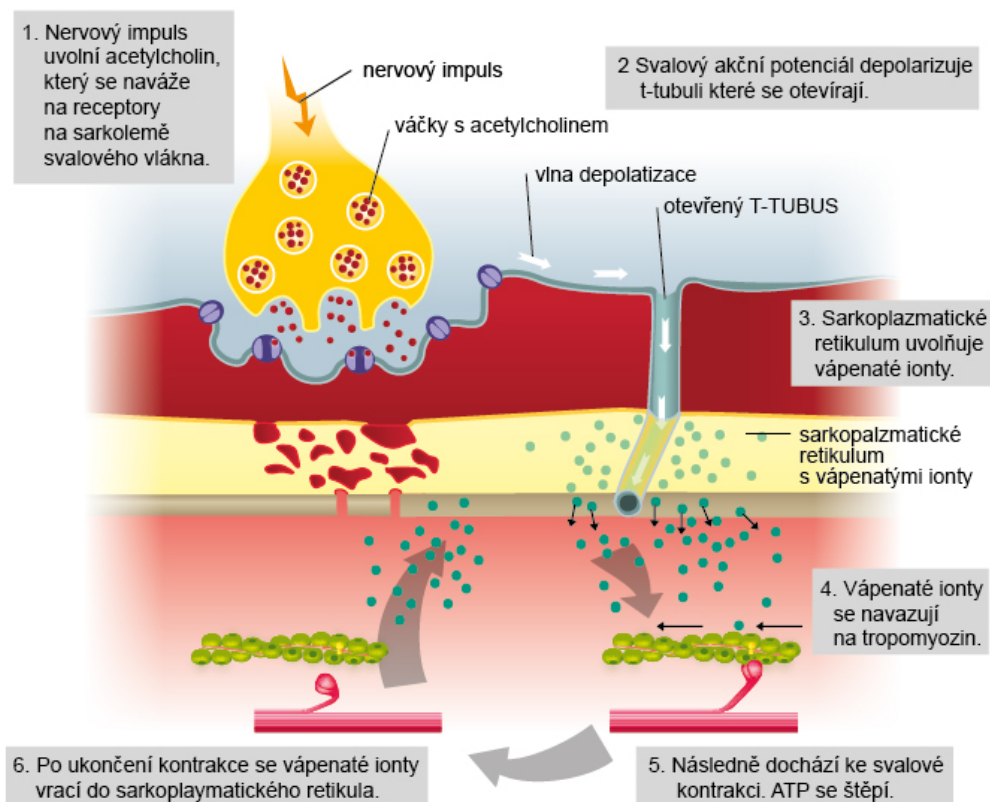
- Řízení kardiovaskulárních a respiračních funkcí
- Termoregulace a metabolismus
- Řízení hormonální osy a regulace všech žláz v těle
- Řízení vnitřních orgánů
- Řízení hladké svaloviny orgánů, cév a kůže
- Regulační atrofický vliv uplatňovaný na kosterních svalech
- Biorytmus
- Reprodukce
- Kvalita psychických funkcí

2.8 Řízení svalové kontrakce (řízení motoriky CNS i PNS)

Kontrakce kosterního svalu je přímo řízená centrálním nervovým systémem. Přenos vzruchu z CNS až ke svalovým vláknům kosterní svaloviny má za úkol motoneuron. Elektrické děje ve svalu jsou podmíněny iontovými přesuny. Na adekvátní velikost podmětu reaguje svalová (nervová) tkáň tvorbou akčního potenciálu, který se šíří pomocí napěťově řízených kanálů (T – tubulů). Po podráždění SR dojde k vyplavení Ca^{2+} iontů do cytoplazmy a koncentrace se zvýší na 10^{-4} mol/l a dojde ke zrychlení zpětné resorpce, proto tento děj označujeme za reversibilní. To by mělo za následek ochabnutí svalové kontrakce (Martini a kol., 2006).

2.8.1 Motorická ploténka

Příčně pruhovaná kosterní svalovina je vzrušivá tkáň reagující kontrakcí na stimulaci elektrickým výbojem, který ke svalu putuje eferentní částí somatického nervového systému. Ten je tvořen tzv. α – motoneurony, které jsou spojeny se svalovým vláknem speciálním spojením zvaným motorická ploténka. Motorická ploténka má stejný funkční princip jako každá chemická synapse. Mediátorem je neurotransmitter acetylcholin, který je uvolněn z presynaptické membrány při dosažení akčního potenciálu, čímž dochází k otevření Ca^{2+} kanálů. Po vyplavení acetylcholinu dochází k navázání této látky na receptory postsynaptické membrány, kde vyvolá postsynaptický akční potenciál. Samotná svalová buňka je pokryta sarkolemou, který vybíhá na povrch v podobě T – tubulů. T – tubuly spolu s sarkoplazmatickým retikulem hrají hlavní roli v šíření akčního potenciálu svalovou buňkou, čímž následně dochází ke kontrakci (Langmeier a kol., 2009).



Obr. 2: Přenos nervového impulsu z motoneuronu na svalovou buňku (Silbernagl, 2004).

2.8.2 Motorická jednotka

Motorická jednotka je soubor svalových vláken inervovaných axonem jednoho motoneuronu. Motorické jednotky mohou být velké 100 - 150 svalových vláken v případě velkých svalů vykonávající jednoduché pohyby. Pro jemné a přesné pohyby slouží malé motorické jednotky s 5 - 15 svalovými vlákny. Sousední motorické jednotky se překrývají. Díky tomu je každý sval inervován motoneurony z více sousedních míšních segmentů a každý míšní segment inervuje svými motoneurony více svalů (Petrovický, 2002).

2.8.3 Svalový záškub (muscle twitch)

Jeden akční potenciál motoneuronu vyvolá svalovou odpověď. Krátká kontrakce následovaná relaxací. Tento záškub je základním mechanickým prvkem svalové kontrakce. Se zvyšovanou frekvencí akčních potenciálů se izolované záškuby k sobě přibližují až následně splývají. Z toho vyplývá, že síla sv. kontrakce je úměrná počtu nervových impulzů – akčních potenciálů. Protože vlákno nestíhá po každém podráždění plně relaxovat, každá další kontrakce způsobuje nárůst síly kontrakce. Tento jev označuje Kittnar (2011) jako fenomén časové sumace.

2.9 Únava

První publikovaná práce o únavě se datuje do roku 1892, kdy Angelo Mosso publikoval svou práci nejprve v italštině a dále byla přeložena do němčiny. Vzhledem ke špatnému porozumění byl citován jako zastánce vnímání únavy jako procesu uvnitř centrální nervové soustavy (CNS). Opak je pravdou a jeho studie poukazuje na fakt, že únava může být přisouzena procesům ve svalech. Tedy může mít periferní charakter (Boring, 1950).

Únava je velmi komplexní pojem a neexistuje jednotný pohled na tuto problematiku. Přes již déle než století probíhající výzkumy v této oblasti, nebylo problematice únavy plně porozuměno. Je zcela běžné pociťovat únavu bez předešlé fyzické námahy. Celková (centrální) únava může být předmětem nemoci, ovšem může mít původ i u psychickém stavu jedince jako projev nedostatku motivace a nedostatku zájmu. Naším cílem je ale pouze únava vyvolaná předešlou fyzickou zátěží, sloužící jako varování organismu na přílišné zatížení celého organismu nebo jeho části. V anglicky psané literatuře je pojem únava většinou zaměnitelný s pojmem svalová únava (Boring, 1950).

Ganog (2005) uvádí, že únava je vcelku špatně objasněný projev intenzivní tělesné nebo duševní námahy.

Pokud je tělesná zátěž delšího trvání, představuje velké nároky pro tělo na regulaci homeostazi. Klíčovou roli hraje vyčerpání energetických zásob, ztráta tělesných tekutin a s tím spojené změny objemu a osmolality krve. Rychlost těchto změn a reakce těla na tyto podmínky jsou závislé na míře adaptace organismu na tyto stresory (Kittnar, 2011).

Pro porozumění svalové únavě je potřeba si připustit, že neexistuje pouze jedna příčina svalové únavy, ale že příčiny únavy se mohou lišit.

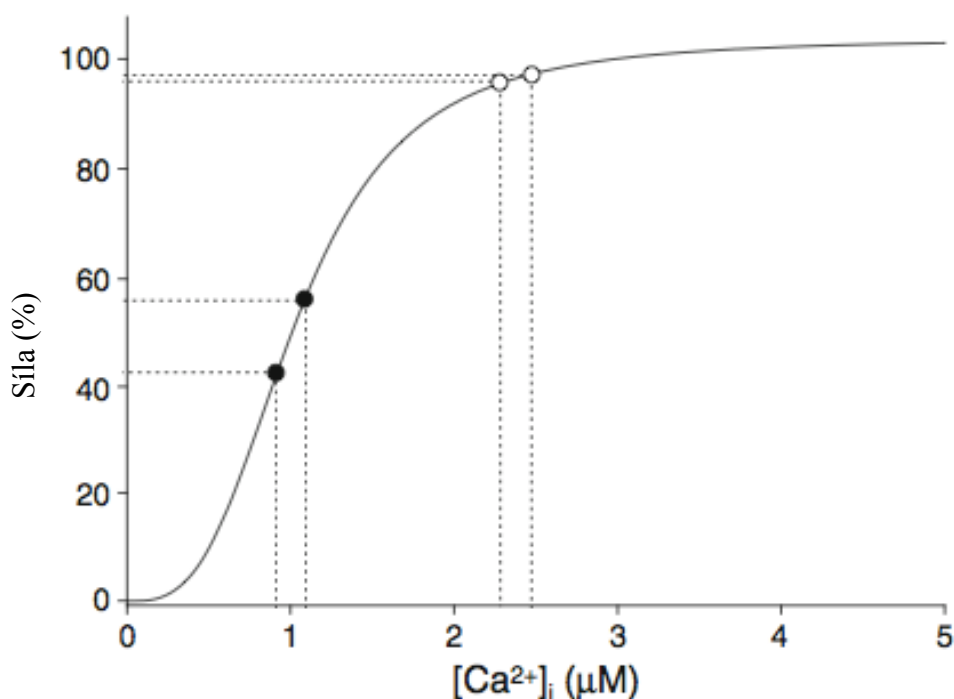
- Vyčerpání energetických zásob v pracujících svalech je otázkou poklesu koncentrace ATP, následně vyčerpání zásob CP a glykogenu.
- Produkce H^+ iontů. „*Únava je rovněž závislá na produkci laktátu, zdrojem únavy jsou ovšem H^+ ionty, nikoliv laktátový anion. Důvodem únavy jsou následující mechanismy: inhibice glykolýzy (enzymu fosfofruktokynáza), uvolňování Ca^{2+} iontů z vazby na troponin, stimulace proprioreceptorů, omezení mobilizace mastných kyselin* (Kittnar, 2011, 731s.).“
- Systémové změny působící na CNS. Poklesem pH v plazmě dochází k ovlivnění funkce mozku a následné snížení pH mozkomíšního moku vyvolá nauzeu a bolesti hlavy. Dalšími faktory jsou přehřátí organismu a dehydratace. Tyto faktory snižují průtok krve játry, tím klesá schopnost glukoneogeneze a dochází tak k poklesu hladiny cukru v krvi, což má za následek silný pocit únavy, případně dezorientaci až ztrátu vědomí (Kittnar, 2011).
- Po ukončení zatížení prudce klesá žilní návrat, srdeční výdej i střední arteriální tlak. To má za následek zhoršení průtoku krve mozkem, následný pocit únavy a snahu těla zaujmout horizontální polohu či se alespoň předklonit. Tělo se snaží eliminovat vliv gravitace na žilní návrat. V krajním případě autonomní nervový systém způsobí ztrátu vědomí a tím tělo zaujme polohu v leže (Kittnar, 2011).
- Při dehydrataci organismu musí být brán v úvahu fakt průběžné ztráty solí pocením během zatížení. V případě doplnění tekutin čistou vodou je tělo ohroženo hypoosmií, což má za důsledek přesun vody do intracelulárního prostoru. V případě mozku uloženého v pevném obalu lebky dochází k akutním bolestem hlavy a nevolnosti (Kittnar, 2011).

2.9.1 Centrální vs. periferní únava

Tradičně se změny vedoucí k narušené schopnosti vytvářet sílu popisují jako „centrální“ či „nervové“, když se nacházejí před nervosvalovou ploténkou a jako „periferní“ či „svalové“ za nervosvalovou ploténkou. Sníženou schopnost vytvářet sílu si lze představit tak, že se skládá z centrálních prvků únavy a periferních prvků únavy. Posouzení periferních prvků únavy, které jsou základem selhání při úkolu a/nebo snížené síly maximální dobrovolné kontrakce (MVC) se provádí monitorováním produkce M-vln, Pt a síly během tetanické stimulace prováděné při různých frekvencích (Merton, 1954); (Edwards et al., 1977); (Millet and Lepers, 2004). Centrální únava je tradičně ztotožňována s technikou interpolace cukání u lidí (Merton, 1954), kdy je perifernímu nervu během plató fáze (fáze stabilizace) MVC dán elektrický stimulus. Když toto vede ke větší síle, dojde se k závěru, že sestupný tah k motoneuronu není maximální a že existuje centrální únava. Nedávno byla tato technika interpolace cukání aplikována na nepoškozená unavená jednotlivá svalová vlákna a byl vypořizován nárůst síly během plató izometrické kontrakce ukazující na „centrální únavu“, což je samozřejmě u jednotlivých vláken nemožné (Place a kol., 2008).

Vysvětlení pro zvýšenou sílu spočívá v sigmoidním tvaru vztahu síla – $[Ca^{2+}]_i$. Jak se vytváří únava, snižuje se tetanické $[Ca^{2+}]_i$ a vlákna se posouvají ke strmé části vztahu síla – $[Ca^{2+}]_i$, kde má malý nárůst v tetanickém $[Ca^{2+}]_i$ značný dopad na vyvinutou sílu (viz Obr. 1). Tudíž intracelulární mechanismus v podobě zvýšeného tetanického $[Ca^{2+}]_i$ může být zodpovědný za relativní nárůst v dodatečné síle vytvořené interpolovaným cuknutím během únavy (Place et al., 2008). Jelikož se technika interpolace cukání používá u úrovní síly, které korespondují s MVC, přičemž jde ruku v ruce se situací v jednotlivých vláknech, existuje pravděpodobnost, že rozsah centrální únavy může být touto technikou nadhodnocen (Place a kol., 2008). K této „periferní kontaminaci“ míry rozsahu centrální únavy může dojít, když jsou všechny motorické jednotky rekrutovány, tj. když je úroveň síly modulována hlavně změnami v „palebné síle“ motorické jednotky. Horním limitem pro rekrutaci motorické jednotky je ~ 85% MVC u většiny svalů a ještě méně u menších svalů (Duchateau et al., 2006) a nad touto úrovní jsou další navýšení v síle svalu v podstatě vytvářena zvýšenou frekvencí vypouštění motorických neuronů.

Navíc jakákoli změna v povrchové EMG aktivitě může reflektovat změny ve strategii rekrutace motorických jednotek provedené CNS a/nebo periferní změny, jako jsou poškození v nervosvalovém přenosu či propagace akčního potenciálu podél svalových vláken. Normalizace integrovaného EMG signálu do M-vlnové amplitudy či oblasti se používá k minimalizaci periferní kontaminace a tudíž zlepšení citlivosti této metody k vyhodnocení úrovně centrálního motorického výkonu. Tato metoda hodnocení centrální únavy by však měla být též interpretována s opatrností, neboť byly v těchto měřeních hlášeny některé nesrovnalosti (Place et al., 2007). Navíc lze vyhodnotit α -motoneuronovou excitabilitu pomocí Hoffmannova reflexu (H reflex), kdy jsou Ia aferenty elektricky stimulovány, což následně aktivuje motorické neurony; EMG odezva (obvykle zaznamenaná na soleu u lidí) závisí na usnadnění synaptického přenosu a změnách v předsynaptických a postsynaptických inhibicích v míše (Palmieri et al., 2004). Amplituda H-reflexu byla použita v řadě studií, které se pokoušely vyhodnotit změnu v rovnováze excitací a inhibicí přijatých α -motoneuronu během/po cvičeních (Place et al., 2008); (Duchateau et al., 2002); (Loscher et al., 1996); (Racinais et al., 2007), a k žádnému opravdovému konsenzu se nedospělo, jistě kvůli rozdílným experimentálním podmínkám.



Obr. 3: Sigmoidní tvar vztahu síla- $[Ca^{2+}]_i$ vysvětluje, proč má změna $[Ca^{2+}]_i$ v příkré části křivky (což je výsledkem nízkofrekvenční stimulace v neunavených vláknech

nebo stimulace o vyšší frekvenci v unavených vláknech (*černé tečky*) mnohem větší dopad na vytváření síly v porovnání s podobnou změnou $[Ca^{2+}]_i$ blízko nebo na plošně křivky) vysokofrekvenční stimulace v neunavených vláknech (*bílé tečky*). Tento sigmoidní vztah mezi silou a $[Ca^{2+}]_i$ vysvětluje, proč (1) lze „centrální únavu“ vyzorovat v izolovaných jednotlivých vláknech, (2) je post-aktivační potenciace důležitá při nesaturovaných úrovních Ca^{2+} a nevyskytuje se při vysokých úrovních relativní síly a (3) malá změna v $[Ca^{2+}]_i$ v unavených vláknech má za následek větší variace v síle.

2.10 Zotavení

Zotavení můžeme charakterizovat jako proces biologicko – anabolických změn. Pro tento proces je charakteristické, že dochází k postupnému návratu ke klidovým funkcím organismu a dochází k obnově energetických zásob, které byly částečně vyčerpány během zátěže. Primární podstatou těchto dějů je eliminace únavy (Hamil, 1995).

Fox (1988) rozlišuje dva základní typy zotavení z hlediska času. Fázi rychlou a pomalou. Rychlá fáze je procesem splácení kyslíkového dluhu. Dochází k obnově kyslíku v krvi a svalovém myoglobinu. Následuje obnova zásob ATP, CP a reguluje se koncentrace Ca^{2+} a K^+ iontů. Tyto děje jsou realizovány do 2 minut po výkonu. Během celé fáze rychlého zotavení dochází k proporciálnímu poklesu srdeční frekvence. Kyslíkový dluh je vyrovnán asi za 30 min po výkonu.

Pomalá fáze zotavení je provázena přeměnou laktátu na glykogen, při které je spotřebováno 60% přijatého kyslíku. Zbylých 40% slouží na tvorbu energie pro termoregulaci. Obnova svalového glykogenu trvá 10 až 48 hodin v závislosti na délce a intenzitě zatížení (Hamil, 1995).

Proces zotavení	minimum	maximum
Obnova ATP – CP	2 min	3 – 5 min
Náhrada O ₂ dluhu	3 min	5 min
Náhrada O ₂ – myoglobinu	1 min	2 min
Náhrada laktát. dluhu	30 min	60 min
Resyntéza sv. glykogenu		
Po intervalové metodě	2h – 40%; 5h – 55%; 24h – 100%	
Po kontinuální metodě	10h – 60%; 48h – 100%	
Odstranění laktátu z krve a svalů	10 min – 25%; 20-25min – 50%; 1h – 95%	

Tab. 2: Časy doporučené pro zotavení po cvičení do vyčerpání (Fox, 1988).

2.10.1 Aktivní zotavení

Aktivní zotavení je forma odpočinku, při kterém jakoukoli vykonávanou aktivitou dochází ke zrychlení zotavných procesů a zkrácení času navrácení těla do původního stavu. Při aktivním odpočinku dochází ke zvýšení srdeční frekvence, z čehož vyplývá zrychlení krevního průtoku. Následkem toho dochází k rychlejšímu odstranění únavy ve svalech. Laktát se hromadí v rychlých sv. vláknech a vlivem aktivního zotavení dochází k částečnému přesunu do pomalých svalových vláken (Brooks, 2000).

Mezi aktivní způsob zotavení lze zařadit například chůzi, běh, případně jízdu na kole. Důležitou podmínkou je udržování intenzity činnosti na 50 – 65% srdeční frekvence po dobu cca 20 min (McArdle, 2001).

2.10.2 Pasivní zotavení

Pasivní zotavení je forma odpočinku, ve které dochází k samovolnému návratu organismu do původního stavu, bez zařazení jiných napomáhajících činností. Cochrane (2004) uvádí, že pasivní odpočinek lze realizovat jak v sedě tak i vleže. Typickým představitelem pasivního zotavení je spánek. Pasivní procesy jsou časově velmi pomalé a trvá řádově několik dní než se organismus navrátí do původního stavu.

Mezi pasivní formy zotavení lze podle Cochrane (2004) řadit také různé druhy masáží, saunování a kryoterapie.

2.10.3 Ochlazování

Pro sportovce napříč všemi sportovními odvětvími se neustále diskutuje nad problematikou udržení sportovního výkonu po delší čas, přestože se stále navyšuje intenzita zatížení. Toto udržování výkonnosti po delší časový úsek, ve kterém se střídají fáze závodní a fáze odpočinku, je nejvíce patrné v rámci například turnajů týmových sportů nebo ve více týdenních etapových závodech v cyklistice a mistrovství světa ve veslování (Leeder et al., 2012).

Z těchto důvodů vzrůstá zájem o metody podporující zrychlování zotavných procesů během závodních fází. Jednou z metod, o kterou jeví sportovní obec a vědci velký zájem, je aplikace ochlazování po zatížení (Halson, 2011).

Byla objevena řada možných pozitivních efektů ochlazování, jako například (Wilcock et al., 2006): snížení teploty svalů, snížení svalového poškození, snížení výskytu svalových zánětů (Eston and Peters, 1999), snížení srdeční frekvence a srdečního výdeje (Sramek et al., 2000), periferní vasokonstrikce, snížení periferního otoku (Bailey et al., 2007) a analgetický efekt (Cheung et al., 2003).

I přes nespočet studií zabývající se touto problematikou zůstávají mechanismy vysvětlující benefity z ochlazování stále plně nevysvětlené. Nejčastějšími metodami ochlazování pro sportovní účely se staly: aplikace studené vody, ochlazovací vesty, kryogenické komory či studené místnosti, masáž ledem, konzumace studených nápojů (Wegmann et al., 2012).

Tyto metody jsou používány jako součást regeneračních procesů. Aplikace je rozmanitá například: zchlazení před výkonem, kryoterapie po zranění a nejčastější metodou je ponořování částí/celého těla do studené vody (cold water immersion – CWI) (Halson, 2011).

2.10.3.1 Ponořování do studené vody (Cold water immersion)

Byla publikována řada studií zabývajících se problematikou pozátěžového ochlazování pomocí ponořování do studené vody. Halson (2011) ve své studii vyzkoumal vliv hydroterapie (ponořování do studené nebo kontrastní vody) na zotavné procesy. CWI mělo větší efekt pro sportovce, kteří v rámci své sportovní disciplíny nesou svou tělesnou hmotnost (běh). Méně efektivní se tato metoda jeví pro sportovní odvětví typu cyklistika nebo plavání.

Halson (2011) poukázal na fakt, že neexistuje jednotná ideální teplota vody pro ponořování ani hloubka ponoření a čas trvání ponoření. Na základě literární rešerše byla doba ponoření experimentálně odvozena pro ponoření celého těla na 10-20 min při teplotě 15°C – 20°C.

Leeder a kol. (2012) vyhodnotili 14 experimentálních studií efektů CWI pro sporty s vysokou intenzitou zatížení. Autoři se zaměřili na čtyři hlavní parametry: svalová síla, svalový výkon, čas nástupu bolesti ve svalu a koncentrace kreatin – kinázy. Zjistili, že je to metoda, která vede ke snížení bolestivosti svalů, ovšem nepoukázali na skutečnost zlepšení zotavných procesů.

2.10.4 Měření teploty

Jandová (2009) uvádí, že fyziologická norma zdravé populace je 36,5 – 36,9 °C. Hodnoty mírně zvýšené 37,0 – 37,3°C bývají důsledkem zvýšené svalové zátěže, případně hormonální změny. Tyto hodnoty mohou být způsobeny nepřiměřenou svalovou zátěží u sportovců po tréninku nebo po mimořádných výkonech.

2.10.4.1 Místa měření tělesné teploty

Tělesnou teplotu obvykle měříme v následujících místech, fyziologické hodnoty jsou:

- V axile 35,3 – 37,5°C.
- V ústech 35,8 – 37,5°C, kde snížení těchto hodnot může způsobit kouření, žvýkání nebo dýchání ústy.
- V konečnících 36,2 – 38,1 °C, měření je výhodné u malých dětí, je vypovídající o teplotě tělesného jádra.

(Jandová, 2009)

2.10.4.2 Měření tělesné teploty ve zvláštních případech

Tělesnou teplotu často měříme pro účely výzkumu na nezvyklých místech. Pro naše účely Jandová (2009) uvádí statistické normy populace pro následující místa:

- Čelo 33,6°C (interindividuální rozdíly jsou až 1,5 °C).
- Na temeni hlavy 31,8 °C.
- Na dorzu ruky 32°C.
- Na předloktí 28,0 °C.

2.11 Silové schopnosti

Již od dětství je jedním z klíčových aspektů k začlenění do společnosti porovnávání sil. Běžně se děti přou o to kdo má větší sílu. To se přenáší i do dospělosti. Proto bereme sílu jako jeden z klíčových parametrů sportovní výkonnosti.

První zmínka o formálním silovém tréninku byla nalezena v čínském textu datovaném na 3600 let před našim letopočtem, kdy císař sestavil sérii cviků pro veřejnost. Během dynastie Chou (1122-249 před našim letopočtem) byla podmínkou vstupu do armády silová cvičení, která nejsou blíže specifikována, v anglické terminologii jsou souhrnně nazvána jako „weight-lifting test“ (Siff, 1993).

Je třeba ovšem rozlišovat sílu z hlediska fyzikálního a sílu jako pohybovou schopnost. Dovalil (2008, s. 200) definuje sílu jako: „*Komplex pohybových schopností překonávat, udržovat nebo brzdit určitý odpor.*“ V této práci je již zbytečné parafrázovat již tolikrát zmíněná fakta o svalové činnosti, anatomické a fyziologické podklady. Vše je možné dohledat ve kterékoli literatuře zabývající se tematikou sportovního tréninku. Proto přikročím ke samotnému rozřazení druhů silových schopností.

První světově uznávanou studii, která poprvé vymežila strukturu silové oblasti, provedl v roce 1964 Fleishman (Měkota, 2005). Řada světově uznávaných kapacit toto členění podpořila (Brühe, 1989; Choutka, 1987; Zaciorskij, 1995). Naproti tomu jiní autoři (Bompa, 1990; Glesk, 1992; Letzler, 1983) vycházejí z uplatnění odlišných projevů síly v různých sportovních disciplínách (Měkota, 2005).

V naší práci jsem vybral členění silových schopností podle tuzemského autora Dovalila (2008) který tvrdí: „*Důležité je si uvědomit, že nelze sílu chápat pouze jako mohutnost svalového stahu (velikost odporu) ale také zohlednit rychlost svalového stahu, trvání pohybu a počet opakování.*“

Dělení:

- síla absolutní
- síla explozivní
- síla vytrvalostní

Vzhledem k faktu, že celý experiment byl zaměřen mimo jiné i na rozvoj síly vytrvalostní pomocí metody kruhového tréninku, jak uvedu níže, je potřeba se více věnovat po teoretické stránce zmiňované vytrvalostní síle. Tu definuje Dovalil (2008) jako schopnost překonávat nemaximální odpor opakováním pohybu v daných podmínkách nebo dlouhodobě odpor udržovat. Může být realizována při dynamické nebo statické činnosti.

Síla vytrvalostní se projevuje déle trvající svalovou kontrakcí (koncentrická, excentrická i statická), kde odpovídající stimulací je metoda silově vytrvalostní a doplňkově metoda opakovaných úsilí. Velikost odporu nám musí umožnit dostatečně dlouhou dobu cvičení (Dovalil, 2009). Tudíž: „*Silová vytrvalost je schopnost uplatňovat svalovou sílu opakovaně po delší dobu bez výrazného snížení její úrovně* (Měkota, 2005, s. 122).“ Ze světové scény jsem si vybral postulát autora Stoppani (2008), který vytrvalostí sílu popisuje jako schopnost produkovat sílu po delší dobu nebo prostřednictvím mnohočetných opakování pohybu. Tento typ síly uvádí autor jako stěžejní při sportech jako jsou např. zápas, cyklistika nebo plavání.

Ideální je podle Dovalila (2009) použití přibližně odporu do 50% maxima, tj. opakovací maximum 20-50. Podle Cissik (2012) je to tzv. 50-RM test. Tato zkratka vychází z anglického fifty repetition- maximum test (50 dřepů s takovým odporem, abych zvládl udělat daný počet opakování) Definice říká, že máme použít takový maximální odpor, se kterým je cvičenec schopen provést padesát opakování. Podle zvoleného odporu se aktivují různé druhy svalových vláken a tím se mění adaptační efekt. Kromě místní stimulace svalů je kladen důraz i na rozvoj vytrvalostních schopností, tedy kardio-pulmonálních. To znamená, že určující není pouze odpor ale i doba trvání dané činnosti. Vzhledem k tomuto faktu se musí dávkování zátěže a intervalů odpočinku řídit podle principů vytrvalostního zatížení. S ohledem na druhy vytrvalostních schopností (Tab. 3) Dovalil (2009) rozlišuje varianty aerobního a anaerobního silového tréninku.

Vytrvalost	Převážná aktivace energetického systému	Doba trvání pohybové činnosti
Dlouhodobá	O ₂	přes 10 min
Střednědobá	LA-O ₂	do 8-10 min
Krátkodobá	LA	do 2-3 min
Rychlostní	ATP-CP	do 20-30s

Tab. 3: Vymezení vytrvalostních schopností podle aktivace energetických systémů (Dovalil, 2009).

Vhodnou metodicko-organizační formou je proto tzv. kruhový trénink. Pro uvedený model zatížení se volí cvičení, která postupně a střídavě kladou silově vytrvalostní nároky na různé svalové skupiny. Samotný kruhový trénink má obvykle 6-12 stanovišť. Tento způsob organizace je sice náročnější na přípravu, zato nám ale umožňuje zapojit do posilování současně větší počet osob (Dovalil, 2009). Poprvé tento pojem vymezil R. Morgan a G. Adamson v roce 1953 na Universitě v Leedsu (Siff, 1993). Tito autoři chápou kruhový trénink jako možnost spojit kardiovaskulární zátěž se silovým tréninkem. Stoppani (2008) dodává, že je vhodné kruhový trénink absolvovat pod dohledem tréninkového partnera, který měří čas strávený na stanovištích a délku pauzy mezi cviky. Dále je kladen důraz na pořadí cviků. Doporučuje se střídát cviky na horní a dolní polovinu těla, čímž se prodlouží čas na zotavení jednotlivých částí těla a oddálí se nástup únavy.

Siff (1993) dále rozlišuje dva typy kruhového tréninku:

- Aerobní:
 - Nepřetržitá aktivita nebo střídání různých aerobních činností (cyklistika, běh na místě (jogging on the spot)).
 - Vysoký počet opakování na každém stanovišti 20-40.
 - S relativně nízkým odporem asi 30% z 1RM.
 - Celkově 5 až 10 sérií.

- Anaerobní:
 - Čas odpočinku mezi sériemi 1-4 min.
 - Méně aerobních cviků a více odporových.
 - Menší počet opakování na odporových stanovištích 3-8.
 - Celkový počet sérií 3-5.
 - Cvičení s větším odporem většinou více než 70% 1RM.

2.11.1 Testování síly flexorů prstů

Velmi jednoduchou metodu pro stanovení maximální síly flexorů prstů předvedl Michailov et al. (2009) během světového poháru v lezení v Bulharské Sofii 2007. Ideální možnost pro otestování světové elity v lezení. Lezci si stoupli na osobní váhu a drželi se dvěma prsty lišty (rameno ve flexi 180°) dominantní rukou. Šíře lišty byla 10 mm (Obr. 2). Lezci se snažili přesunout co nejvíce hmotnosti z osobní váhy na prsty. Maximální síla byla vypočtena z rozdílů tělesné hmotnosti na začátku a nejnižší hodnotou zobrazenou osobní váhou v průběhu testu. Tato forma testování byla převzata od Köstermeyera a Weinecka (1995), kterou následně použil ve své práci o měření síly u lezců s předešlým zraněním prstů Schöffl (2006).



Obr. 4: Testování síly flexorů prstů za pomoci osobní váhy (Michailov, 2006)

3 Analytická část

3.1 Cíl práce

- Cílem je posoudit vliv teploty vody při ponoření předloktí na rychlost zotavení při opakovaném izometrickém výkonu.

3.2 Hypotézy

- Rychlost zotavení při ponoření do 8°C vody bude významně vyšší než při teplotě 15°C.

3.3 Úkoly

1. Navržení zátěžového testu na opakovaný izometrický výkon.
2. Výběr a kontaktování výzkumného souboru.
3. Shromáždění dat ze zátěžového testu.
4. Zpracování dat.
5. Objasnění vztahů mezi teplotou vody a rychlostí zotavení.

3.4 Metodika

3.4.1 Soubor

Výzkumný soubor byl tvořen náhodným výběrem pěti dobrovolníků mužů, studentů Fakulty tělovýchovy a sportu. Žádný ze zmíněných probandů netrpěl zdravotními obtížemi a nepožil požívání medikamentů. Všichni probandi 48 hodin před testem nepožili žádné potraviny ani potravinové látky obsahující kofein, taurin nebo jiné stimulanty. Všichni účastníci byli seznámeni s průběhem studie a svůj souhlas stvrdili podpisem v souladu s etickou komisí.

3.4.2 Realizace měření

Měření bylo realizováno v laboratoři sportovní motoriky. Během rozcvičení na bouldrové stěně byla pod ní umístěna matrace pro dodržení všech bezpečnostních standardů. Všichni testovaní před zahájením měření absolvovali tělní analýzu a byla jim změřena tělesná hmotnost a výška. Testu předcházelo rozcvičení, které pro skupinu nelezců zahrnovalo 3 x 20 lezeckých kroků s 1 minutovým pasivním odpočinkem. Jeden lezecký krok je považován za přesun ruky z chytu na chyt. Pro skupinu lezců rozcvičení obsahovalo 100 lezeckých kroků. Samotný test byl realizován ve stoji na kalibrované osobní váze s libovolnou paží ve vzpažení. Posledními články prstů se proband zachytil na speciálně připravené liště. Nejprve se zaznamenala aktuální váha jedince včetně oblečení a obuvi, poté hodnota zátěžového maxima. Proband se přenesl maximální možnou hmotností na prsty chycené za lištu a rozdíl hodnot nám dal maximální hodnotu výkonu. Celý test maximálního zatížení se opakoval 3 krát s minutovým pasivním odpočinkem a z průměru hodnot vznikla výchozí hodnota. Z výchozí hodnoty maximálního zatížení se odečetlo 40% a zbylých 60% se odečetlo od aktuální váhy jedince. Výsledná hodnota byla zátěžovou hodnotou testu. Následovalo zatížení do odmítnutí nebo byl test ukončen v případě, že proband nebyl schopen udržet stanovené zatížení v úchylce 2%. Samotné zatížení se skládalo z 10s zatížení s 3s pasivního odpočinku (10 s. + 3 s. + 10 s. + 3s. + 10 s.). Následovalo ponoření předloktí do vody o teplotě 8°C při prvním měření a 15°C při druhém. Schéma ponořování bylo 4 minuty předloktí ponořené ve vodě a 2 minuty vytažené z vody. Celková doba zotavení byla 20 minut (4 min. + 2 min. + 4 min. + 2 min. + 4 min. + 4 min.). Kompletní design testování se skládal ze tří fází zatížení a dvou fází zotavení.

Označení úseku	odpočinek/zatížení	čas v min.
1	kontrakce	X
2	ponoření	4
8°C; 15°C; pas		2
		4
		2
		4
		4
3	kontrakce	X
4	ponoření	4
8°C; 15°C; pas		2
		4
		2
		4
		4
5	kontrakce	X

Tab. 4: Design měření.

3.4.3 Použité metody

Celý soubor byl nejprve podroben tělní analýze (Tanita BF-666, Tokyo, Japan). Velikost zatížení při kontrakci byla procentuálně odvozena (40%) od maximálního výkonu z visu otevřeným úchopem, rameno v poloze 180° a prsty na liště o šíři 1,5cm. Pomocí kalibrovaného teploměru se čtyřmi teplotními čidly se měřila teplota prostředí, vody a obou předloktí. Pro umístění čidel teploměru na předloktích byl vybrán bod 10 cm proximálně na středové linii od karpu. Časy byly zaznamenávány dvojicí ručních digitálních stopek. Přístroj Gymbos byl použit k udávání rytmu kontrakce (10s) a relaxace (3s) v průběhu fáze zatížení.

3.4.4 Vyhodnocení výsledků

Vzhledem k malému počtu probandů nebyla vypočtena statistická významnost, ale pouze významnost věcná. Časy prvních zatížení v rámci třech měření nám poskytly podklady pro výpočet reliability měření pomocí koeficientu reliability.

Pro výpočet koeficientu reliability byl zvolen následující vzorec: $Rel = 1 - (S_e/S_t)$, kde rel – koeficient reliability, S_e – rozptyl chyb a S_t – celková variabilita dat.

K posouzení věcné významnosti jsme jako kritérium považovali střední chybu měření (SEM).

$$SEM = SD \times \sqrt{(1-ICC)} \text{ neboli } S_e = s_x \cdot \sqrt{(1-Rel)}$$

(Hendl, 2012).

3.5 Výsledky

Z prvních hodnot zatížení pro každé měření byli vypočteny následující hodnoty: reliability měření je $ICC = 0,79$ (reliabilita); $SEM = 12,5s$ (střední chyba měření); $SD = 27,3 s$ (směrodatná odchylka). Z těchto výsledků vyplývá, že změni-li se výsledek o $12,5s$ vykazuje výkyv této hodnoty již věcnou významnost.

Proband	8C	15C	pas
X1	98	98	97
X2	113	116	114
X3	127	180	170
X4	127	115	124
X5	153	153	164

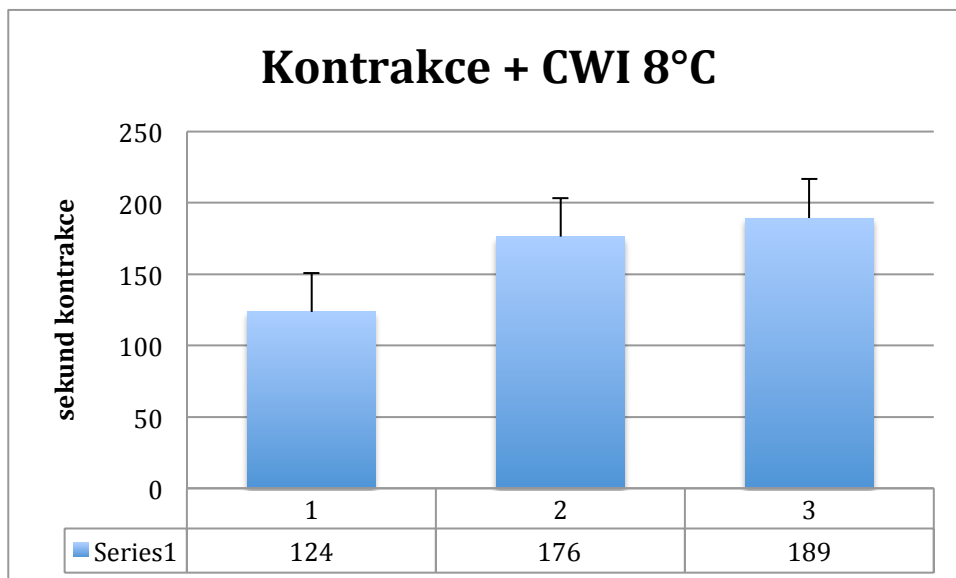
Tab. 5: Hodnoty v sekundách pro první zatížení u všech tří měření.

Z tabulky číslo 3 lze usoudit, že probandi vykazovali podobné časové hodnoty ve všech třech případech prvního měření, i když mezi měřeními byl časový rozestup více jak 48h. Z toho lze usoudit, že nedošlo k projevu trénovanosti v závislosti na předchozí zkušenosti.

	Průměr	Směrodatná odchylka	N
1T1-8	124s	20,3s	5
3T2-8	176s	66,6s	5
5T3-8	189s	88,0s	5
1T1-15	132s	33,3s	5
3T2-15	176s	58,4s	5
5T3-15	162s	43,3s	5
1T1-pas	134s	31,8s	5
3T2-pas	97s	35,7s	5
5T3-pas	99s	36,1s	5

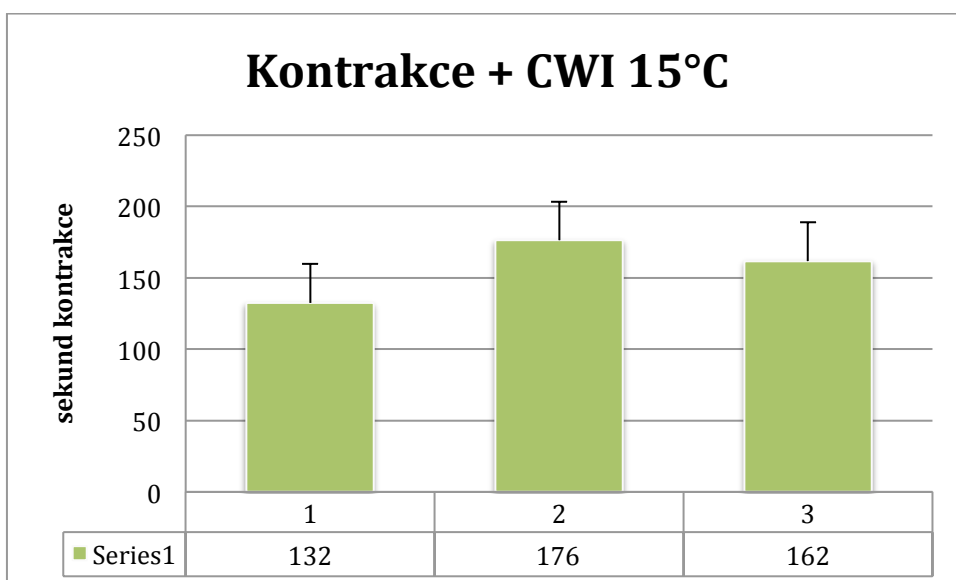
Tab. 7: Průměrné časy jednotlivých úseků měření a jejich směrodatné odchylky.

- (1T1-8) – průměrný čas první kontrakce všech probandů / zotavení v 8°C vodě.
(3T2-8) – průměrný čas druhé kontrakce všech probandů / zotavení v 8°C vodě.
(5T3-8) – průměrný čas třetí kontrakce všech probandů / zotavení v 8°C vodě.
(1T1-15) – průměrný čas první kontrakce všech probandů / zotavení v 15°C vodě.
(3T2-15) – průměrný čas druhé kontrakce všech probandů / zotavení v 15°C vodě.
(5T3-15) – průměrný čas třetí kontrakce všech probandů / zotavení v 15°C vodě.
(1T1-pas) – průměrný čas první kontrakce všech probandů / pasivní způsob zotavení.
(3T2-pas) – průměrný čas druhé kontrakce všech probandů / pasivní způsob zotavení.
(5T3-pas) – průměrný čas třetí kontrakce všech probandů / pasivní způsob zotavení.



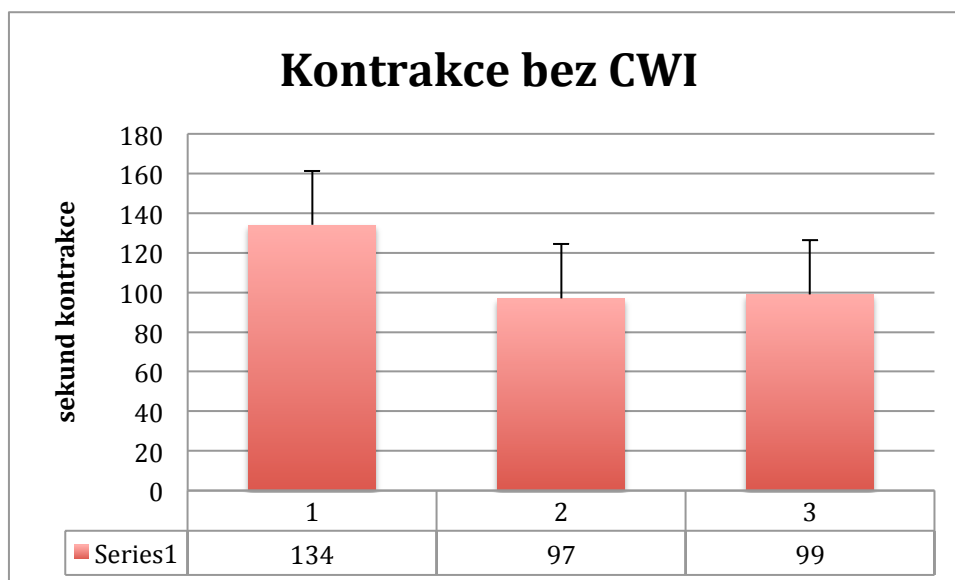
Graf 6: Průměrná doba zatížení u všech probandů v sekundách při ponořování do 8°C vody během fáze zotavení.

Průměry naměřených hodnot všech probandů pro zotavení při ponořování paže do 8°C vody vykazují věcně významné rozdíly. Nárůst délky kontrakce s rozdílem 52s mezi první a druhou kontrakcí poukazuje na fakt pozitivního vlivu 8°C vody v rámci intermitentního zatížení. Ve studiích obdobného charakteru nebyla nikdy realizována třetí kontrakce a i ta potvrzuje svým rozdílem 13s pozitivní nárůst času kontrakce.



Graf 7: Průměrná doba zatížení u všech probandů v sekundách při ponořování do 15°C vody během fáze zotavení.

Průměrná doba kontrakce všech probandů při zotavení s ponořováním do 15°C vody nemá stejný průběh jako při ponořování do 8°C vody. Druhá kontrakce převyšuje svou délkou kontrakci třetí o 14,4 s. Ovšem druhá i třetí kontrakce jsou významně delší nežli kontrakce první konkrétně o 43,8s v případě druhé kontrakce a 29,4s je rozdíl času mezi první a třetí kontrakcí.



Graf 8: Průměrná doba zatížení u všech probandů v sekundách bez ponořování do vody během fáze zotavení.

4 Diskuse

Pro intermitentní zatížení v rámci izometrické kontrakce naše data poukázala na významný vliv CWI v porovnání s pasivním zotavením. Toto tvrzení potvrzují i další studie (Wegmann et al., 2012). Řada jiných autorů (Watts et al., 2000) porovnávajících pasivní odpočinek s aktivním v podobě zátěže na bicyklovém ergometru se shoduje, že aktivní odpočinek také urychluje zotavné procesy.

Teplota vody pro v rámci CWI se jednotlivých autorů liší. Autoři používali vodu kolem 10°C (Al Haddad et al., 2010a); (Ascensao et al., 2011); (Ingram et al., 2009), ale i teploty 27°C a 35°C (Al Haddad et al., 2010b). Použití vody o teplotě nižší než 8°C je pro probandy již pocitově nepříjemné. Na základě těchto informací byly stanoveny dvě teploty 8°C a 15°C. Autoři se zmiňují i o teplání vody ponořením části těla do nádoby. Tato situace se řešila přidáním přiměřeného množství ledu, ale dávkování bylo problematické. Vanička, do které byla paže ponořována neměla žádný mechanismus promíchávání, ale i přes tento fakt se pomocí běžné míchání rukou dařilo držet teplotu vody rovnoměrnou v celé vaničce.

Hodnoty byly odečítány na osobní váze. Tento způsob specifického silového testu byl převzat z jiné studie (Michailov, 2006). Systém fáze zatížení, kdy byly střídány 10s kontrakce a 3s odpočinek byl převzat ze studie jiných autorů (MacLeod et al., 2007); (Philippe et al., 2012) v rámci literární rešerše, tak aby byly výsledky možné interpretovat na co nejpodobnějším designu výzkumu.

Důležitou součástí celého měření byla i poloha paže v průběhu vynoření / pasivního odpočinku. Probandi měli za úkol mít paži opřenou o stůl s flexí 90° v lokti. Tato pozice byla zvolena z důvodu nejpodobnější polohy při ponoření do vaničky. Lze tedy konstatovat, že poloha paže se až na přesuny výrazně během fáze zotavení neměnila.

Jak již data nasvědčují podařilo se nám zamezit nežádoucím aktivitám probandů po dobu celého experimentu, aby například únava paží následkem manuální činnosti neovlivnila výsledky experimentu. Ponořování do studené vody bylo střídáno s vytažením paže do pokojové teploty. Tento fakt je podložen rovnoměrnými výsledky první kontrakce u všech měření. Polohu těla řešili i jiné studie autorů (Peiffer et al., 2010), ve kterých byl proband ponořen převážně celý. Cílení procesu zotavení by mělo být na místo lokálního zatížení dle studie Bielika (2010), proto bylo zařazeno pouze lokální CWI.

Velikost výzkumného vzorku již poukazuje na skutečnost, že naměřená data chceme-li z nich vyvodit nějaké platné zobecnění a závěry je nutné celý experiment verifikovat na větším počtu probandů. Realizace na větším počtu probandů v rámci diplomové práce by byla velmi obtížná. Časové možnosti a ochota probandů absolvovat měření cca 3 x 1h v horizontu 14 dnů jsou stěžejním pro realizaci toho experimentu. Celý experiment jsem musel absolvovat dvakrát, jelikož první skupina probandů byla extrémně nespolehlivá a procento odpadnuvších bylo tak vysoké, že jsem musel vyhodnotit celou skutečnost jako dále nerealizovatelnou.

Stanovení maximální volní kontrakce zavěšením na 1,5 cm širokou lištu po rozcvičení na lezecké stěně nedělalo probandů větší obtíže. Hodnoty jejich pokusů byly velmi podobné.

Samotná délka kontrakce je vždy ovlivněna aktuálními psychickými stavy jedince. Experiment byl navržen, tak aby kontrakce byla ukončena na základě překročení stanoveného rozpětí hodnot. Tento princip vyžadoval velké volní úsilí což mohlo mít podstatný vliv na samotný výkon.

Zásadním nedostatkem experimentu, který byl odhalen v průběhu měření je fakt, že nejsme schopni postihnout dynamiku nástupu zatížení do stanovené zóny probanda. Následně kvantifikovat čas zatížení / kontaktu v inkriminované zóně. Bohužel vybavení laboratoře zatím neumožňuje technicky tento problém eliminovat, ale již se očekává, že v blízké době bude tento nedostatek možno odstranit koupí nového technického vybavení laboratoře.

V rámci vyhodnocení dat nebylo patrné, že by opakované pokusy probandů způsobily zlepšení v časech kontrakce na základě předchozí zkušenosti či tréninku. Jak již bylo konstatováno, výše měření s pasivním způsobem zotavení potvrdilo konstatování ostatních studií, že zotavné procesy jsou pomalejší a tím pádem dochází k rychlejšímu nástupu únavy.

5 Závěr

Tato práce potvrdila, byť na malém počtu probandů, pozitivní vliv CWI na zotavení v rámci intermitentního zatížení izometrické kontrakce předloktí. Délka kontrakcí jichž probandi dosahovali při ponořování do 8°C a 15°C vody v porovnání s pasivním způsobem zotavení vykazovaly významný časový nárůst. Data potvrdila, že zotavné procesy při ponoření do 8°C vody jsou v organismu rychlejší než při ponoření do 15°C vody. Závěrem lze shrnout, že případné zařazení CWI v rámci tréninkového procesu by mělo mít vliv na rychlost nástupu únavy. Tím je teoreticky možné podstoupit větší tréninkový objem. Zařazení CWI po tréninkové jednotce má vliv na pozitivní vliv na dynamiku zotavných procesů. Realizace systematického využívání CWI v tréninkovém či závodním procesu je ovšem u většiny sportovních disciplín velmi finančně náročné. Právě financování těchto zotavných procesů může být důvodem, že jsou realizovány povětšinou na nejvyšší sportovní úrovni. Tento fakt ovšem nepodporuje skupina sportů v přírodě, kde ochlazení vodou v okolí je dostupné komukoli.

6 Použitá literatura

- Allen, D. G., G. D. Lamb, and H. Westerblad, 2008, Skeletal muscle fatigue: Cellular mechanisms: *Physiological Reviews*, v. 88, p. 287-332.
- Bailey, D. M., S. J. Erith, P. J. Griffin, A. Dowson, D. S. Brewer, N. Gant, and C. Williams, 2007, Influence of cold-water immersion on indices of muscle damage following prolonged intermittent shuttle running: *Journal of Sports Sciences*, v. 25, p. 1163-1170.
- Bielik, V. (2010). Effect of different recovery modalities on anaerobic power in off-road cyclist. *Biology of Sport*, 27(1), 59-63.
- Boring, E. G. A history of experimental psychology. 2. ed. Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall, 1950. ISBN 9780133900392.
- Brooks, G. A., 2000, Intra- and extra-cellular lactate shuttles: *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 32, p. 790-799.
- Cissik, M., Strength and conditioning: a concise introduction. New York: Routledge, 2012, viii, 311 p. ISBN 978-0-415-66664-0.
- Čihák, R. Anatomie 1. 2. vyd. Praha: Grada Publishing, 2001, 497 s. ISBN 80-716-9970-5.
- Dovalil, J., Lexikon sportovního tréninku. 2. upr. vyd. Praha: Karolinum, 2008, 313 s. ISBN 978-802-4614-045.
- Dovalil, J., Výkon a trénink ve sportu. 3. vyd. Praha: Olympia, 2009, 331 s. ISBN 978-807-3761-301.
- Eston, R., and D. Peters, 1999, Effects of cold water immersion on the symptoms of exercise-induced muscle damage: *Journal of Sports Sciences*, v. 17, p. 231-238.
- Edwards, R. H. T., D. K. Hill, D. A. Jones, and P. A. Merton, 1977, Fatigue of long duration in human skeletal muscle after exercise.: *Journal of Physiology-London*, v. 272, p. 769-778.
- Fitts, R. H., 1994, CELLULAR MECHANISMS OF MUSCLE FATIGUE: *Physiological Reviews*, v. 74, p. 49-94.
- Franzini – Armstrong, C. & Porter, K.R. (1964). Sarcolemmal invaginations constituting the T – system in fish muscle fiber. *Journal of Cell Biology* 22, 675-696.
- Ganog, W. F. Přehled lékařské fyziologie. 20. vyd. Praha: Galén, c2005, xx, 890 s. ISBN 80-726-2311-7.
- Hamill, J., Knutzen, K. M. Biomechanical Basis of Human Movement. Batlimore: Williams & Wilkins 1995. ISBN 0-68-303863-X.
- 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.
- Hendl, Jan. Přehled statistických metod: analýza a metaanalýza dat. 4., rozš. vyd. Praha: Portál, 2012, 734 s. ISBN 978-80-262-0200-4.
- Jandová, D. Balneologie. 1. vyd. Praha: Grada, 2009, xvi, 404 s., 16 s. barev. obr. příl. ISBN 978-80-247-2820-9.
- Junqueira, L. C. U., Carneiro J., Okelley R. Základy histologie. 1. vyd. v ČR. Jinočany: H & H, c1997, vi, 502 s. ISBN 8085787377.
- Kittnar, O. Lékařská fyziologie. 1. vyd. Praha: Grada, 2011, 790 s. ISBN 978-802-4730-684.

- Langmaeier M. a kol. *Základy lékařské fyziologie*. 1. vyd. Praha: Grada, 2009. ISBN 8024725266.
- Mertini, F. H., a With William C. art coordinator and illustrator With William C. O. *Fundamentals of anatomy and physiology*. 7th ed. Englewood Cliffs, N.J: Prentice Hall, 2006. ISBN 0321311981.
- Macithosh, B. R., Gardiner, P. F., McComas, A. *Skeletal muscle: form and function*. 2nd ed. Champaign, IL: Human Kinetics, c2006, viii, 423 p. ISBN 07-360-4517-1.
- Měkota, K., Novosad, J., *Motorické schopnosti*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2005, 175 s. ISBN 80-244-0981-X.
- Mertini, F. H., a With William C. art coordinator and illustrator With William C. O. *Fundamentals of anatomy and physiology*. 7th ed. Englewood Cliffs, N.J: Prentice Hall, 2006. ISBN 0321311981.
- Michailov ML. *Evolution and experimentation of a new interval method for strength endurance development*. In: Moritz FE, Haake S, ed. *The Engineering of Sport 6, Volume 2. Development for disciplines*. New York: Springer Science and Business Media; 2006: 291-6.
- Neumann, G., Pfitzner, A., Hottenrott, K. *Trénink pod kontrolou*. 1. vyd Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-0947-3.
- Verrati, E. (1902). *Ricerca sulla fine struttura della fibra muscolare striata*. *Memorie Reale Istituto Lombardi* 19, 87 – 133.
- Weber, H.H. (1935). *Der feinebau und die mechanischen eigenschaften des myosin-fadens*. *Arch. Physiol.* 235:205–233.
- Wilmore, J. H., Costill, D. L. 2004. *Physiology of sport and exercise*. 3rd ed. Hong Kong: Human Kinetic. ISBN: 0-7360-4489-2.
- Petrovický, P. *Anatomie s topografií a klinickými aplikacemi*. 1. vyd. Martin: Osveta, 2002, 542 s., čb. il. ISBN 80-8063-048-8.
- Siff, M., Verkhoshansky, Y., *Supertraining: special strength training for sporting excellence: a textbook on the biomechanics and physiology of strength conditioning for all sport*. 2nd ed. Johannesburg: School of Mechanical Engineering, University of the Witwatersrand, 1993. ISBN 18-748-5665-6.
- Stoppani, J. [překlad Soumar, L.], *Velká kniha posilování: tréninkové metody a plány: 255 posilovacích cviků*. 1. vyd. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-802-4722-047.
- Silbernagl, S., Despopoulos A. *Atlas fyziologie člověka*. 6. vyd., zcela přeprac. a rozš., Vyd. 3. české. Praha: Grada, 2004, xiii, 435 s. ISBN 80-247-0630-x.
- Tvrzník, A., Škorpil, M., Soumar, L. *Běhání od joggingu po maratón*. Praha: Grada, 2006. ISBN: 80-247-1220-2.
- Al Haddad, H., P. B. Laursen, S. Ahmaidi, and M. Buchheit, 2010a, *Influence of cold water face immersion on post-exercise parasympathetic reactivation*: *European Journal of Applied Physiology*, v. 108, p. 599-606.
- Al Haddad, H., P. B. Laursen, D. Chollet, F. Lemaitre, S. Ahmaidi, and M. Buchheit, 2010b, *Effect of cold or thermoneutral water immersion on post-exercise heart rate recovery and heart rate variability indices*: *Autonomic Neuroscience-Basic & Clinical*, v. 156, p. 111-116.
- Allen, D. G., G. D. Lamb, and H. Westerblad, 2008, *Skeletal muscle fatigue: Cellular mechanisms*: *Physiological Reviews*, v. 88, p. 287-332.
- Ascensao, A., M. Leite, A. N. Rebelo, S. Magalhaes, and J. Magalhaes, 2011, *Effects of cold water immersion on the recovery of physical performance and muscle*

- damage following a one-off soccer match: *Journal of Sports Sciences*, v. 29, p. 217-225.
- Bailey, D. M., S. J. Erith, P. J. Griffin, A. Dowson, D. S. Brewer, N. Gant, and C. Williams, 2007, Influence of cold-water immersion on indices of muscle damage following prolonged intermittent shuttle running: *Journal of Sports Sciences*, v. 25, p. 1163-1170.
- Brooks, G. A., 2000, Intra- and extra-cellular lactate shuttles: *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 32, p. 790-799.
- Cheung, K., P. A. Hume, and L. Maxwell, 2003, Delayed onset muscle soreness - Treatment strategies and performance factors: *Sports Medicine*, v. 33, p. 145-164.
- Duchateau, J., C. Balestra, A. Carpentier, and K. Hainaut, 2002, Reflex regulation during sustained and intermittent submaximal contractions in humans: *Journal of Physiology-London*, v. 541, p. 959-967.
- Duchateau, J., J. G. Semmler, and R. M. Enoka, 2006, Training adaptations in the behavior of human motor units: *Journal of Applied Physiology*, v. 101, p. 1766-1775.
- Edwards, R. H. T., D. K. Hill, D. A. Jones, and P. A. Merton, 1977, Fatigue of long duration in human skeletal muscle after exercise.: *Journal of Physiology-London*, v. 272, p. 769-778.
- Eston, R., and D. Peters, 1999, Effects of cold water immersion on the symptoms of exercise-induced muscle damage: *Journal of Sports Sciences*, v. 17, p. 231-238.
- Fitts, R. H., 1994, CELLULAR MECHANISMS OF MUSCLE FATIGUE: *Physiological Reviews*, v. 74, p. 49-94.
- Gardiner, P., Y. Dai, and C. J. Heckman, 2006, Effects of exercise training on alpha-motoneurons: *Journal of Applied Physiology*, v. 101, p. 1228-1236.
- Halson, S. L., 2011, Does the Time Frame Between Exercise Influence the Effectiveness Of Hydrotherapy for Recovery?: *International Journal of Sports Physiology and Performance*, v. 6, p. 147-159.
- Hanson, J., and H. E. Huxley, 1953, structural basis of the cross-striations in muscle: *Nature*, v. 172, p. 530-532.
- Ingram, J., B. Dawson, C. Goodman, K. Wallman, and J. Beilby, 2009, Effect of water immersion methods on post-exercise recovery from simulated team sport exercise: *Journal of Science and Medicine in Sport*, v. 12, p. 417-421.
- Katz, A., D. C. Andersson, J. Yu, B. Norman, M. E. Sandstrom, B. Wieringa, and H. Westerblad, 2003, Contraction-mediated glycogenolysis in mouse skeletal muscle lacking creatine kinase: the role of phosphorylase b activation: *Journal of Physiology-London*, v. 553, p. 523-531.
- Leeder, J., C. Gissane, K. van Someren, W. Gregson, and G. Howatson, 2012, Cold water immersion and recovery from strenuous exercise: a meta-analysis: *British Journal of Sports Medicine*, v. 46, p. 233-240.
- Loscher, W. N., A. G. Cresswell, and A. Thorstensson, 1996, Excitatory drive to the alpha-motoneuron pool during a fatiguing submaximal contraction in man: *Journal of Physiology-London*, v. 491, p. 271-280.
- MacLeod, D., D. L. Sutherland, L. Buntin, A. Whitaker, T. Aitchison, I. Watt, J. Bradley, and S. Grant, 2007, Physiological determinants of climbing-specific finger endurance and sport rock climbing performance: *Journal of Sports Sciences*, v. 25, p. 1433-1443.

- Merton, P. A., 1954, Voluntary strength and fatigue.: *Journal of Physiology-London*, v. 123, p. 553-564.
- Millet, G. Y., and R. Lepers, 2004, Alterations of neuromuscular function after prolonged running, cycling and skiing exercises: *Sports Medicine*, v. 34, p. 105-116.
- Palmieri, R. M., C. D. Ingersoll, and M. A. Hoffman, 2004, The Hoffmann reflex: Methodologic considerations and applications for use in sports medicine and athletic training research: *Journal of Athletic Training*, v. 39, p. 268-277.
- Peiffer, J. J., C. R. Abbiss, G. Watson, K. Nosaka, and P. B. Laursen, 2010, Effect of cold water immersion on repeated 1-km cycling performance in the heat: *Journal of Science and Medicine in Sport*, v. 13, p. 112-116.
- Philippe, M., D. Wegst, T. Muller, C. Raschner, and M. Burtscher, 2012, Climbing-specific finger flexor performance and forearm muscle oxygenation in elite male and female sport climbers: *European Journal of Applied Physiology*, v. 112, p. 2839-2847.
- Place, N., N. A. Maffiuletti, A. Martin, and R. Lepers, 2007, Assessment of the reliability of central and peripheral fatigue after sustained maximal voluntary contraction of the quadriceps muscle: *Muscle & Nerve*, v. 35, p. 486-495.
- Place, N., T. Yamada, J. D. Bruton, and H. Westerblad, 2008, Interpolated twitches in fatiguing single mouse muscle fibres: implications for the assessment of central fatigue: *Journal of Physiology-London*, v. 586, p. 2799-2805.
- Racinais, S., O. Girard, J. P. Micallef, and S. Perrey, 2007, Failed excitability of spinal motoneurons induced by prolonged running exercise: *Journal of Neurophysiology*, v. 97, p. 596-603.
- Sramek, P., M. Simeckova, L. Jansky, J. Savlikova, and S. Vybiral, 2000, Human physiological responses to immersion into water of different temperatures: *European Journal of Applied Physiology*, v. 81, p. 436-442.
- Watts, P. B., M. Daggett, P. Gallagher, and B. Wilkins, 2000, Metabolic response during sport rock climbing and the effects of active versus passive recovery: *International Journal of Sports Medicine*, v. 21, p. 185-190.
- Wegmann, M., O. Faude, W. Poppendieck, A. Hecksteden, M. Frohlich, and T. Meyer, 2012, Pre-Cooling and Sports Performance A Meta-Analytical Review: *Sports Medicine*, v. 42, p. 545-564.
- Westerblad, H., J. D. Bruton, and A. Katz, 2010, Skeletal muscle: Energy metabolism, fiber types, fatigue and adaptability: *Experimental Cell Research*, v. 316, p. 3093-3099.
- Wilcock, I. M., J. B. Cronin, and W. A. Hing, 2006, Physiological response to water immersion - A method for sport recovery?: *Sports Medicine*, v. 36, p. 747-765.
- Zhang, S. J., D. C. Andersson, M. E. Sandstrom, H. Westerblad, and A. Katz, 2006, Cross bridges account for only 20% of total ATP consumption during submaximal isometric contraction in mouse fast-twitch skeletal muscle: *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, v. 291, p. C147-C154.
- Michailov, M., L. Mladenov, L. V., & Schoffl, V., R. (2009). Anthropometric and strength characteristics of world-class boulderers. *Medicina Sportiva*, 13(4), 231–238.
- Köstermeyer G, Weineck J. Necessity of one-finger-training for the increase of performance in climbing. Comparison of force development between one- and four-finger maximum contraction. *D Z Sportmed* 1995; 46:356-62.

- Schöffl VR, Einwag F, Strecker W, Schöffl I. Strength Measurement after conservatively treated Pulley Ruptures in Climbers. *Med Sci Sport Exerc* 2006; 38(4):637-43.
- MacLeod D, Sutherland DL, Nuntin L, Whitaker a, Aitchison T, Watt I, Bradley J, Grant S (2007) Physiological determination of climbing-specific finger endurance and sport rock climbing performance. *J Sports Sci* 25:1433–1443.
- Palmieri, R. M., C. D. Ingersoll, and M. A. Hoffman, 2004, The Hoffmann reflex: Methodologic considerations and applications for use in sports medicine and athletic training research: *Journal of Athletic Training*, v. 39, p. 268-277.
- Place, N., N. A. Maffiuletti, A. Martin, and R. Lepers, 2007, Assessment of the reliability of central and peripheral fatigue after sustained maximal voluntary contraction of the quadriceps muscle: *Muscle & Nerve*, v. 35, p. 486-495.
- Place, N., T. Yamada, J. D. Bruton, and H. Westerblad, 2008, Interpolated twitches in fatiguing single mouse muscle fibres: implications for the assessment of central fatigue: *Journal of Physiology-London*, v. 586, p. 2799-2805.
- Racinais, S., O. Girard, J. P. Micallef, and S. Perrey, 2007, Failed excitability of spinal motoneurons induced by prolonged running exercise: *Journal of Neurophysiology*, v. 97, p. 596-603.
- Sramek, P., M. Simeckova, L. Jansky, J. Savlikova, and S. Vybiral, 2000, Human physiological responses to immersion into water of different temperatures: *European Journal of Applied Physiology*, v. 81, p. 436-442.
- Wegmann, M., O. Faude, W. Poppendieck, A. Hecksteden, M. Frohlich, and T. Meyer, 2012, Pre-Cooling and Sports Performance A Meta-Analytical Review: *Sports Medicine*, v. 42, p. 545-564.
- Westerblad, H., J. D. Bruton, and A. Katz, 2010, Skeletal muscle: Energy metabolism, fiber types, fatigue and adaptability: *Experimental Cell Research*, v. 316, p. 3093-3099.
- Wilcock, I. M., J. B. Cronin, and W. A. Hing, 2006, Physiological response to water immersion - A method for sport recovery?: *Sports Medicine*, v. 36, p. 747-765.
- Zhang, S. J., D. C. Andersson, M. E. Sandstrom, H. Westerblad, and A. Katz, 2006, Cross bridges account for only 20% of total ATP consumption during submaximal isometric contraction in mouse fast-twitch skeletal muscle: *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, v. 291, p. C147-C154.

7 Přílohy

1. Protokol měření

PROTOKOL

Jméno a příjmení:

Datum narození:

Datum měření:

Číslo MOXY:

Vzdálenost MOXY: Vzdálenost teploměru:

Teplota vody:

Max vis 1	
Max vis 2	
40% maximálního visu	

	START			KONEC			KONEC ZOTAVENÍ	
	čas	SF	Teplota paže	čas	SF	Teplota paže	SF	Teplota paže
Výkon1								
Výkon2								
Výkon3								

2. Informovaný souhlas



Informovaný souhlas

Vážený pane/paní!

Rád bych Vás jako vhodného probanda požádal o účast ve výzkumu v rámci mé diplomové práce. Cílem je posoudit vliv teploty vody při ponoření předloktí na rychlost zotavení při opakovaném izometrickém výkonu. Neinvazivní testování bude provedeno v laboratoři sportovní motoriky na Fakultě tělesné výchovy a sportu, UK, kde budete podroben opakovanému izometrickému výkonu předloktí s následným ponořením do vody o teplotě 8°C respektive 15°C. Celková časová náročnost tohoto testování bude 2 x 45 minut. Získaná data nebudou zneužita a osobní data nebudou zveřejněna.

Souhlasím s mojí účastí na experimentu v oblasti fyziologie zatížení v rámci diplomové práce Jana Škody, studenta Fakulty tělesné výchovy a sportu s cílem posoudit vztah mezi teplotou vody a časem ponoření a rychlosti zotavení při opakovaném izometrickém výkonu.

Jméno účastníka výzkumu:

Datum narození:

V Praze dne.....

Podpis účastníka výzkumu.....