

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**  
Fakulta tělesné výchovy a sportu

**Vliv aktivního zotavení a hydroterapie na opakovaný krátkodobý  
a střednědobý svalový výkon**

Disertační práce

Vedoucí disertační práce:

**Doc. PhDr. Vladimír Süß, Ph.D.**

Vypracovala:

**Barbora Strejcová**

Červen 2011

Prohlašuji, že jsem disertační práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne

Strejcová Barbora

.....

### Evidenční list

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

Jméno a příjmení:

Fakulta / katedra:

Datum vypůjčení:

Podpis:

---

Touto cestou bych chtěla moc poděkovat hlavně těm, kteří se účastnili tohoto výzkumu a věnovali mi svůj čas. Za velkou trpělivost a pomoc během celého studia bych chtěla poděkovat doc. PhDr. Vladimíru Süssovi, Ph.D. a Mgr. Jiřímu Balášovi, Ph.D. Velký dík patří kolegům z Laboratoře sportovní motoriky hlavně Prof. ing. Václavu Buncovi, CSc., bez kterých by tato práce nemohla vzniknout. Zvláštní poděkování si zaslouží moje celá široká rodina, která mě podporovala po celou dobu studia na vysoké škole.

## SOUHRN

**Název:** Vliv aktivního zotavení a hydroterapie na opakovaný krátkodobý a střednědobý svalový výkon

**Cíl:** Cílem práce bylo porovnat vliv dvou druhů zotavení (ledování, pasivní zotavení) na opakovaný krátkodobý svalový výkon a vliv tří druhů zotavení (aktivní zotavení, studená voda, pasivní zotavení) na opakovaný střednědobý svalový výkon extenzorů a flexorů kolenního kloubu (KK).

**Metody:** Studie se zúčastnilo 14 sportovců (průměrný věk  $26,6 \pm 4,4$  roků). Jednalo se o randomizovaný křížený model vnitroskupinového experimentu. Krátkodobý opakovaný výkon byl měřen ve dvou dnech a střednědobý opakovaný výkon ve třech dnech. Efekt ledování a pasivního zotavení na krátkodobý výkon byl zjišťován  $5 \times 2$  (čas  $\times$  zotavení) analýzou rozptylu s opakováním měření. Vliv aktivního zotavení, pasivního zotavení a studené vody na střednědobý výkon byl zjišťován  $3 \times 3$  (čas  $\times$  zotavení) analýzou rozptylu s opakováním měření.

**Výsledky:** Při opakovaném krátkodobém výkonu nemělo ledování významný vliv na úroveň maximálního momentu síly, celkové práce a průměrného výkonu. Při ledování se významně zmenšila průměrná srdeční frekvence ( $SF_{prum}$ ) v porovnání s pasivním odpočinkem ( $125 \pm 15$  vs.  $135 \pm 20$  tepů.  $min^{-1}$ ).

Při opakovaném střednědobém výkonu jsme zaznamenali pro extenzi kolenního kloubu (KK) významně menší změny maximálního momentu síly po aktivním zotavení ( $\uparrow 0,9$  N.m) v porovnání se studenou vodou ( $\downarrow 14,6$  N.m) a s pasivním odpočinkem ( $\downarrow 13,9$  N.m). Pro průměrný výkon jsme zaznamenali menší pokles po aktivním zotavení ( $\downarrow 5$  W) než po studené vodě ( $\downarrow 23,7$  W) a po pasivním zotavení ( $\downarrow 25,9$  W). Změna celkové práce nebyla významná. Pro flexi KK jsme významné změny nezaznamenali. V naší práci jsme shledali významně vyšší maximální srdeční frekvenci ( $SF_{max}$ ) při měření s aktivním zotavením než při aplikaci studené vody nebo pasivního zotavení ( $173 \pm 14$ ,  $166 \pm 14$  a  $167 \pm 14$  tepů.  $min^{-1}$ ). Našli jsme významné rozdíly  $SF_{prum}$  mezi měřeními s aktivním zotavením, studenou vodou a pasivním zotavením ( $124 \pm 8$ ,  $97 \pm 9$  a  $107 \pm 12$  tepů.  $min^{-1}$ ). Ledování nemělo vliv na opakovaný krátkodobý výkon. Pro opakovaný střednědobý svalový výkon jsme shledali za účinné pouze aktivní zotavení.

**Klíčová slova:** zotavení, ledování, studená voda, pasivní a aktivní zotavení, izokinetická síla, srdeční frekvence.

## SUMMARY

**Title:** The effect of active recovery and hydrotherapy on the subsequent short-term and medium-term muscular performance

**Objective:** The aim of the study was to compare the effect of two recoveries (ice pack, passive recovery) on the subsequent short-term and three recoveries (active recovery, cold water immersion, passive recovery) on the medium-term knee strength in the extension and flexion.

**Methods:** Fourteen athletes in an average age of  $26,6 \pm 4,4$  years performed, in a random cross-over design, 2 sessions with 5 repeated short-term isokinetic tests and 3 sessions with 3 repeated medium-term isokinetic tests. The effect of ice packs and passive rest and the effect of active recovery, passive rest and cold water immersion were assessed by the  $5 \times 2$  (time x recovery) and  $3 \times 3$  (time x recovery) repeated-measure ANOVA, respectively.

**Results:** The ice packs did not have any effect on peak torque, total work and average power during short-term performances. The average heart rate was significantly lower during measurements with the ice packs than during the passive recovery ( $125 \pm 15$  vs.  $135 \pm 20$   $\text{tep}\ddot{u} \cdot \text{min}^{-1}$ ).

We stated significantly lower changes in knee extension for the peak torque after the active recovery ( $\uparrow 0,9$  N.m) than after the cold water immersion ( $\downarrow 14,6$  N.m) or the passive recovery ( $\downarrow 13,9$  N.m). The decrease of the average power was significantly lower after the active recovery ( $\downarrow 5$  W) than after the cold water immersion ( $\downarrow 23,7$  W) or passive recovery ( $\downarrow 25,9$  W). The changes in total work were not significant. We did not find any changes in the isokinetic strength for the knee flexors after different recoveries. Maximal heart rate ( $\text{HR}_{\text{max}}$ ) was significantly higher during measurements with the active recovery than during the cold water immersion and the passive recovery ( $173 \pm 14$ ,  $166 \pm 14$  a  $167 \pm 14$   $\text{tep}\ddot{u} \cdot \text{min}^{-1}$ ). We have found significant differences in average heart rates ( $\text{HR}_{\text{av}}$ ) among measurements with the active recovery, cold water immersion and passive recovery ( $124 \pm 8$ ,  $97 \pm 9$  a  $107 \pm 12$   $\text{tep}\ddot{u} \cdot \text{min}^{-1}$ ). In conclusion, the ice packs did not have any effect on the subsequent short-term isokinetic knee strength. The active recovery was the only method affecting the subsequent medium-term muscular performance.

**Key words:** recovery, ice pack, cold water immersion, passive and active recovery, isokinetic strength, heart rate.

## OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>TEORETICKÁ VÝCHODISKA</b> .....	<b>9</b>
2.1	SVALOVÁ VLÁKNA .....	11
2.1.1	<i>Stavba svalových vláken</i> .....	11
2.1.2	<i>Řízení svalové činnosti</i> .....	15
2.1.3	<i>Kontrakce příčně pruhovaného svalu</i> .....	17
2.1.4	<i>Napětí svalu</i> .....	18
2.2	SVALOVÁ VLÁKNA A JEJICH VLASTNOSTI .....	20
2.2.1	<i>Pomalá červená vlákna (I)</i> .....	21
2.2.2	<i>Rychlá červená vlákna (IIa)</i> .....	21
2.2.3	<i>Rychlá bílá vlákna (IIx)</i> .....	21
2.3	METABOLISMUS SVALOVÉ ČINNOSTI.....	26
2.4	DRUHY SVALOVÉ ČINNOSTI .....	32
2.4.1	<i>Koncentrická svalová činnost</i> .....	33
2.4.2	<i>Excentrická svalová činnost</i> .....	34
2.4.3	<i>Izometrická svalová činnost</i> .....	35
2.4.4	<i>Izotonická svalová činnost</i> .....	35
2.4.5	<i>Izokinetická svalová činnost</i> .....	36
2.5	ÚNAVA.....	37
2.5.1	<i>Centrální únava</i> .....	37
2.5.2	<i>Lokální únava</i> .....	38
2.5.3	<i>Druhy únavy podle intenzity cvičení</i> .....	41
2.5.4	<i>Projevy únavy</i> .....	45
2.6	SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ NÁMAHY .....	47
2.7	ZOTAVENÍ.....	48
2.7.1	<i>Aktivní zotavení</i> .....	49
2.7.2	<i>Pasivní zotavení</i> .....	51
2.7.3	<i>Hydroterapie</i> .....	51
2.8	SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI.....	58
<b>3</b>	<b>CÍLE, HYPOTÉZY A ÚKOLY</b> .....	<b>60</b>
<b>4</b>	<b>METODIKA</b> .....	<b>61</b>
4.1	RELIABILITA MĚŘENÍ.....	61
4.2	Hlavní část výzkumu.....	62
4.2.1	<i>Výzkumný soubor</i> .....	62
4.2.2	<i>Experimentální plán</i> .....	63
4.2.3	<i>Měření svalového výkonu</i> .....	65
4.2.4	<i>Aplikace zotavení během opakovaného krátkodobého výkonu</i> .....	66
4.2.5	<i>Aplikace zotavení během opakovaného střednědobého výkonu</i> .....	66
4.2.6	<i>Vyhodnocení výsledků</i> .....	67
<b>5</b>	<b>VÝSLEDKY</b> .....	<b>69</b>
5.1	VLIV LEDOVÁNÍ NA KRÁTKODOBÝ SVALOVÝ VÝKON .....	69
5.2	VLIV AKTIVNÍHO ZOTAVENÍ A STUDENÉ VODY NA STŘEDNĚDOBÝ SVALOVÝ VÝKON .....	75
<b>6</b>	<b>DISKUSE</b> .....	<b>82</b>
6.1	VLIV LEDOVÁNÍ NA KRÁTKODOBÝ SVALOVÝ VÝKON .....	83
6.2	VLIV AKTIVNÍHO ZOTAVENÍ A STUDENÉ VODY NA STŘEDNĚDOBÝ SVALOVÝ VÝKON .....	85
<b>7</b>	<b>ZÁVĚRY</b> .....	<b>90</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM LITERATURY</b> .....	<b>92</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>100</b>

## Seznam zkratek

ADP - adenosin difosfát

AKT - aktivní zotavení

ATP - adenosin trifosfát

cAMP - cyklický adenosin monofosfát

CNS - centrální nervová soustava

CP - kreatin fosfát

CP - celková práce

DOMS – (delayed onset muscle soreness), subjektivní určení svalové bolestivosti.

FG – (fast glycolytic)-rychlá glykolitická svalová vlákna

FOG – (fast oxidative glycolitic), rychlá oxidativně glykolitická svalová vlákna, přechodná

KK - kolenní kloub

La - laktát, sůl kyseliny mléčné

LED - ledování

MMS - maximální moment síly

Modus - nejčastěji se vyskytující hodnota, použití k hodnocení dat na ordinální stupnici

MVIC – (maximal voluntary isometric contraction), maximální volní izometrická kontrakce

P - volný fosfátový iont

PAS - pasivní zotavení

pH - zásaditost/kyselost prostředí, dáno  $H^+$  ionty (vodíkové ionty)

PV - průměrný výkon

RPE – (Borg's ratings of perceived exertion), Borgova škála subjektivně vnímané námahy

$SF_{max}$  - maximální srdeční frekvence

$SF_{prum}$  - průměrná srdeční frekvence

SV - studená voda

SO – (slow oxidative), pomalá oxidativní svalová vlákna

VAS – (subjective perceived muscle soreness by Visual Analogue Scale), subjektivně vnímaná svalové bolest určená na vizuální analogové škále.

$VO_{2max}$  - maximální spotřeba kyslíku



# 1 ÚVOD

Při snaze o zvyšování celkové výkonnosti sportovce je stále aktuální otázkou zotavení a jeho aplikace v tréninkovém procesu. Hledají se nové druhy zotavení k urychlení a zkvalitnění zotavných procesů organismu jako celku nebo jeho částí. Zatížení v mnoha sportovních výkonech je intermitentního nebo opakovaného charakteru. Výběr zotavení a oddálení únavy může výrazně ovlivnit udržení výkonu při tomto typu zatížení. Mnoho sportovců se spolehá na aktivní odpočinek, ponory do studené a teplé vody, přikládání ledu, různé typy masáží, elektrostimulace, vibrace, ad. Avšak současný výzkum účinků zotavných procedur na lidský organismus je rozporuplný. Nejsou zcela popsána fyziologická zdůvodnění. Vliv na následující výkon je stále nejednoznačný. Fyziologické změny vyvolávající únavu jsou podmíněny typem a intenzitou zatížení, trénovaností sportovce, odstupem aplikace zotavení od předchozího zatížení, výživou, psychickým stavem, a dalšími okolnostmi. Nástup únavy je chápán jako komplexní proces, který zahrnuje jak psychické tak fyziologické mechanismy. Tyto mechanismy je od sebe obtížné oddělit.

Z důvodu aplikace naší studie do praxe, jsme si vybrali elementární pohyb dolních končetin, který se nachází téměř ve všech sportovních činnostech (běh, kopy, odrazy, plavání, cyklistika, lyžování). Různé druhy zotavení pak můžeme využít ve sportech, kde je zatížení intermitentního charakteru a sportovec musí podávat opakovaný maximální výkon někdy i po krátké době odpočinku (skok do výšky, skok o tyči, lední hokej, házená, ad.). Proto bychom chtěli objasnit vliv různých druhů zotavení (ledování, aktivní zotavení, studená voda) na opakovaný krátkodobý a střednědobý svalový výkon a současně popsat subjektivní pocity při dvou typech zátěže po aplikaci vybraných zotavných procesů.

## 2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA

Únava a zotavení představují multidisciplinární termíny. V této práci budeme vycházet z kinantropologického pojetí. Při rešerši zdrojů k těmto termínům byly použity následující vědecké databáze: EBSCOhost, Web of Science, SPORTDiscus, SpringerLink, MEDLINE. V anglické terminologii jsme hledali na základě následujících klíčových slov. Avšak některé téma bylo méně publikované nebo námi uvedená klíčová slova nebyla příliš konkrétní, proto jsme nepostihli úplně všechny publikované články o naší problematice. Je obtížné a ne příliš přesné překládat některé anglické výrazy do českých termínů. Proto u zadávaných klíčových slov, uvedeme i námi používaný český ekvivalent.

Jako základní hledaná slova při hledání zotavných procesů ve spojení s únavou jsme volili slova jako *recovery*, *rest*, *fatigue*, *passive recovery*, *recovery exercise*. Únava byla často dělena podle intenzity předchozího cvičení, proto rozlišujeme únavu také na aerobní únavu, anaerobní únavu, se kterými jsme se v české literatuře nesetkali. Články o poklesu svalového výkonu jsme našli podle klíčových slov *strength*, *force*, *power*, *muscular activity*, *endurance*, *skeletal muscle*, *performance*, *peak torque*, *total work*, *power*, *isokinetic strength*. Ohledně svalového výkonu jsme se v naší práci zabývali pouze několika ukazateli. Proto definujeme hlavně výrazy *peak torque* jako maximální moment síly, dále pak *total work* jako celkovou práci a *average power* jako průměrný výkon používané ukazatele pro svalový výkon.

Na téma ledování jsme volili klíčová slova jako *ice*, *ice packs*, *cold water*, *ice water*, *cryotherapy*. V naší práci používáme jako ekvivalent těchto slov ledování. Podobná slova jsme zadávali při hledání účinků hydroterapie a to přímo *hydrotherapy*, *water immersion*, *cold water*, *cooling effect*, *cold shower*, *warm water*, *contrast water therapy*, *recovery*. V naší práci používáme nejčastěji označení jako aplikace studené vody, teplé vody nebo kontrastní terapie při střídání vody o různých teplotách. Při hledání účinků aktivního zotavení jsme našli články při použití *active recovery*, *walking recovery*, *active rest*, *cycle ergometer*. V naší práci je označujeme souhrnným názvem aktivní zotavení, často se pak vyskytovalo v různých formách (běh, chůze, plavání, jízda na kole).

I když jsme různě kombinovali všechny uvedené termíny z oblasti svalového výkonu, únavy a zotavení, nepodařilo se nám vyhledat všechny články související s naším tématem. Některé studie, které řeší svalovou únavu horních končetin

a zotavení, jsme zahrnuli do teoretické části z důvodu, že jsme mohli účinky zotavení (aktivní zotavení, studená voda, kontrastní terapie) vyzkoušet sami na sobě. Proto jsme si také vybrali téma, které může osvětlit účinky různých druhů zotavení na opakovaný svalový výkon dolních končetin. Snažili jsme se podat ucelený pohled na pokles svalového výkonu, již od základní hybné jednotky (svalového vlákna) pohybových činností a až po účinky různých druhů zotavení na projevy svalového výkonu.

## **2.1 SVALOVÁ VLÁKNA**

Za hybnou jednotku lidského těla se považují kosterní svaly, které se formě svalových snopců upínají na kostru. Na celkové tělesné hmotnosti se svalstvo podílí průměrně 43 %, u sportující populace se tento údaj zvyšuje. Prostřednictvím motorických nervů generují svaly aktivní tenzi pro udržování polohy a pohybu. Pro správnou funkci svalových vláken musíme tělu dodávat dostatečné množství energie. Při oxidativní přeměně energie musí být zajištěn dostatečný přísun kyslíku do pracujících svalů. Proto na svalovou činnost navazuje i činnost srdečně-cévní soustavy a dýchacích orgánů. K urychlení zotavných procesů jsou využívány další procedury, které vyvolávají změny ve vnitřním prostředí. Rychlost zotavných procesů je dána zastoupením svalových vláken a jejich energetických zásob.

Kosterní svalstvo je charakterizováno jako tkáň, která je schopna vlivem volního úsilí kontrakce a relaxace. Kosterní sval je schopen přeměny chemické energie na mechanickou, která se projevuje změnou tenze nebo zkrácením svalu. Základní strukturu kosterního svalstva tvoří svalová vlákna, která obsahují kontraktilní bílkoviny a umožňují mezi nimi tvorbu příčných můstků. Proto se kosterní svalstvo nazývá také jako příčně pruhované. Jako jediná svalová vlákna reagují na podnět vyvolaný vůlí člověka.

Jednotlivá svalová vlákna kosterních svalů pak tvoří snopečky, ze kterých se tvoří svalové snopce odděleny od sebe vazivem. Svalová vlákna dělíme v závislosti na anatomických (průměr vlákna, délka) a fyziologických charakteristikách (rychlost kontrakce a relaxace, převažující metabolismus, množství kontraktilních bílkovin, velikost vyvinuté síly, unavitelnost). Hlavní pohybovou strukturou ve svalovém vláknu jsou kontraktilní bílkoviny (aktin, myozin). Jedná se o složitý proces závislý na dalších strukturách a druhu svalových vláken (Baechle & Earle, 2008).

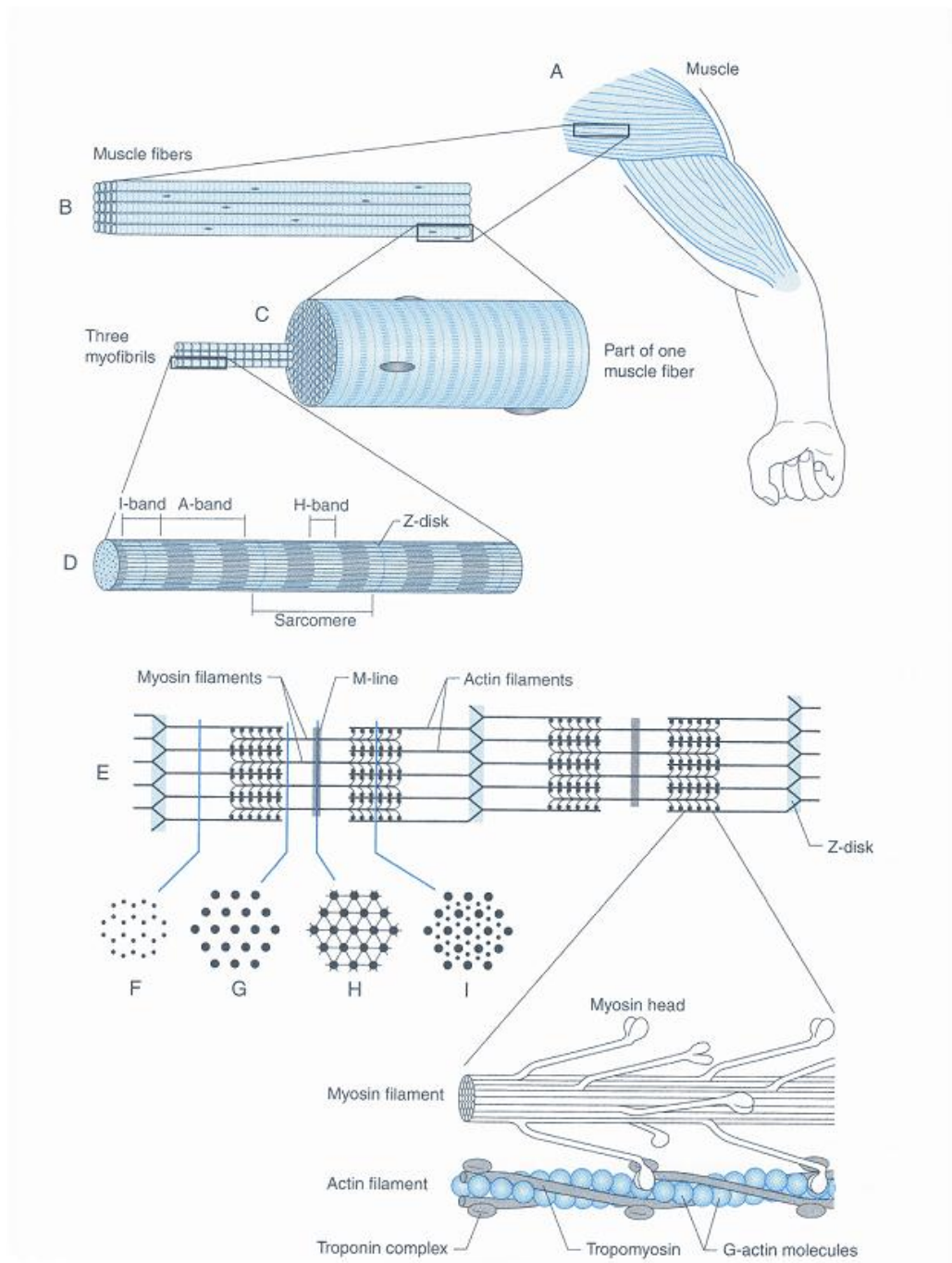
### **2.1.1 Stavba svalových vláken**

Mezi základní funkční charakteristiky příčně pruhovaného svalstva patří schopnost kontrakce a relaxace, která je přímo zajišťována kontraktilními proteiny (aktin, myozin). Příčně pruhovaná vlákna svalu jsou tvořena z mnohojaderných buněk.

Vnitřní prostředí svalového vlákna se nazývá cytoplazma (sarkoplazma), ve které se nacházejí mitochondrie (sarkosomy). Celé svalové vlákno je pokryto buněčnou membránou (sarkolemou). Základní funkční jednotkou ve svalu je sarkomera, ohraničená na obou koncích Z-liniemi (z německého „zwischen“ mezi), na kterých jsou ukotvena tenká aktinová vlákna a uprostřed silná myozinová vlákna. Kontraktilní bílkoviny se označují jako myofilamenta. Konkrétně se jedná o kontraktilní bílkoviny aktinu a myozimu. Struktura vlákna je tvořena již uvěděnými Z-můstky a M-můstky, které vlákno zpevňují po celé jeho délce. Napětí svalových vláken kompenzují vláknité struktury nazývané titin (Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003). Místo, kde se obě bílkovinná filamenta protínají, se nazývá H-zóna. Vchlípením sarkoplazmatické membrány vznikly T-tubuly, které se nacházejí po celé délce sarkolemy a tvoří kanály do sarkoplasmy. Tyto struktury jsou ukotveny v rozdílných hloubkách svalového vlákna, kde regulují propustnost enzymatických látek a iontů do vnitřního prostředí svalových buněk. V sarkoplazmatickém retikulu utvoří T-tubuly rozšířenější vchlípeninu, která slouží jako cisterna kontraktilních enzymů, iontů a dalších látek potřebných pro svalový stah. Jedná se o oblast, která je velmi citlivá na depolarizační akční potenciál, který se šíří po membráně a reguluje otevírání těchto zásobních cisteren (Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003; Baechle & Earle, 2008).

Jednotlivá filamenta obsahují mikroskopické bílkoviny (aktin a myozin), které představují základní hybnou jednotku příčně pruhované svaloviny, společně s dalšími strukturami se podílí na svalové práci. Struktura příčně pruhovaných svalů je zobrazena na obrázku 1.

**Obrázek 1: Struktura příčně pruhovaného svalstva (Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003)**



Mezi regulující bílkovinné struktury, které se podílí na kontrakci svalového vlákna, řadíme troponin a tropomyozin. Hlavními komponentami svalového stahu jsou aktin a myozin. Jedná se o kontraktilní proteiny schopné tvořit příčné můstky. Veškeré kontraktilní bílkoviny se nacházejí v sarkoplasmě svalové buňky, kde jsou uchovávány potřebné ionty ( $\text{Ca}^{2+}$ ), bílkoviny, karbohydráty (složené cukry), a jiné molekuly

obklopeny vnitřním prostředím. Sarkoplasma je obklopena sarkoplasmatickou membránou s mitochondriemi, sarkoplasmatickým retikulem.

Aktin a myozin se od sebe rozlišují na základě několika charakteristik. Myozinové (tlusté) vlákno je složeno z bílkovinných molekul, které tvoří svazčitou strukturu. Každé myozinové vlákno je obklopeno šesti tenkými vlákny aktinu, která připomínají šestiúhelníkovou mřížku. Vyčnívající myozinové struktury se nazývají krk a hlavice myozinu, které směřují na jednotlivá aktinová vlákna. Hlavice směřují na tenká vlákna (aktin) s připojenou molekulou ATP.

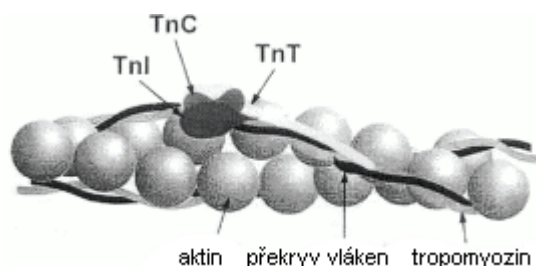
Svalové vlákno je tvořeno přibližně ze 70-75 % tenkými a tlustými myofilamenty, zbytek připadá na ostatní složky svalového vlákna. Tenká a tlustá vlákna jsou složena 50-55 % myofibrilárními bílkovinami, z 30 % je tvoří sarkoplasmatické bílkoviny a zbytek připadá na bílkoviny pojivové tkáně (Marieb, 2006).

Aktinová vlákna jsou tvořena dvoušroubovicí monomerů aktinu, které jsou stočeny do vývrtky. Na jeden závit připadá čtrnáct jednotek aktinu. Ve šroubovici aktinu jsou propleteny další bílkovinné struktury tropomyozinu dlouhé asi 40 nm, na které jsou navázány molekuly troponinu (Baechle & Earle, 2008; MacIntosh, Gardiner, & McComas, 2006; Trojan, 1999).

Troponin se dělí na tři základní podjednotky (obr. 2):

- 1) Tn-C, které jsou připraveny na uchycení na hlavice myozinu,
- 2) Tn-T, jsou jednotky spojující troponin s tropomyozinem,
- 3) Tn-I, v klidovém potenciálu zabraňují tvoření aktomyozinového spojení.

**Obrázek 2: Část tenkého (aktinového) filamenta. Schematický obrázek naznačuje umístění regulačních bílkovin-tropomyozinu a tří podjednotek troponinu (Tn-C, Tn-T, Tn-I) na dvoušroubovici aktinu (Wünsch, Kripner, & Kofránek, 2004)**



Troponin-T pravděpodobně určuje polohu tropomyosinu na tenkých filamentech v blízkosti kontaktní plochy mezi aktinem a hlavou myosinu. Již malé posunutí polohy tropomyosinu může pak silně snižovat vazbu aktinu na hlavu myosinu. Ke svalové kontrakci je potřeba dostatečné množství vápenatých iontů, aby mohlo dojít k vazbě hlavice myozinu na odkrytá vazebná místa aktinu. Vápník tak zajišťuje kontraktilitu svalových bílkovin. Působení vápenatých iontů můžeme znázornit takto:  $\text{Ca}^{2+} > \text{troponin} > \text{tropomyosin} > \text{aktin} > \text{myosin}$  (Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003; Trojan, 1999).

### 2.1.2 Řízení svalové činnosti

Nervosvalový komplex zajišťuje plynulé střídání aktivace a relaxace svalových vláken, které je zajištěno změnou rozložení iontů na membráně, neboli akčním potenciálem. Akční potenciál se může šířit do svalu díky spojení periferního nervu se svalem, tzv. nervosvalovou ploténkou, pomocí periferních nervů komunikuje sval s CNS. Komplex motorických jednotek spojený se stovkami svalových vláken je hlavním zdrojem přenosu informací mezi nervovou a svalovou soustavou. Svalová aktivita závisí na počtu nervosvalových spojů a na počtu a rychlosti elektrických výbojů, jako zdrojů informací. Na každé svalové vlákno je připojen jiný počet motoneuronů podle svého druhu (rychlá, pomalá, přechodná) (Place, Maffioletti, Martin, & Lepers, 2007; Place, Yamada, Bruton, & Westerblad, 2010). Svalová vlákna jsou aktivována elektrickými impulsy vedenými z CNS periferními nervy až ke svalovým vláknům prostřednictvím motoneuronů. Změnou konfigurace rozložení iontů na extracelulární a intracelulární membráně se šíří akční potenciál po celé délce svalového vlákna dokud jsou impulsy dostatečně silné a s dostatečnou frekvencí impulsů. Nejvyšší počet elektrických výbojů je zaznamenán při maximální volní izometrické kontrakci. Vyznačuje se velkým svalovým výkonem (Allen & Westerblad, 2001).

Nervosvalová ploténka je složena ze synapsí, které jsou připojeny na sarkolemu svalového vlákna. Při podráždění dojde na presynaptické štěrbině k otevření kanálů a ze synapsí, z jejich zásobáren, jsou vyplaveny do synaptické štěrbině mediátory. Mezi mediátory řadíme například acetylcholin. Acetylcholin aktivuje nikotinové receptory, které přímo řídí sodné kanály. Akční potenciál se šíří po celé povrchové membráně



včetně jejich vchlípenin T-tubulů. Při depolarizaci se jedná o výměnu iontů na membráně, kdy  $K^+$  ionty proudí ven přes membránu a  $Na^+$  dovnitř (Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003; MacIntosh, Gardiner, & McComas, 2006).

### **Přítomnost vápenatých iontů**

Interakce bílkovinných struktur je umožněna právě vyplavením vápenatých iontů do cytosolu z T-tubulů ze sarkoplasmatického retikula, které byly depolarizovány akčním potenciálem na membráně. S narušením klidového potenciálu na membráně se přesouvají hořčnaté ionty. K opakovanému vzniku příčných můstků aktinu a myozinu jsou nezbytné dostatečné množství iontů vápenatých. Na množství vyplavených vápenatých iontů rozdílně reagují rychlá a pomalá vlákna. Celkové množství  $Ca^{2+}$  ve svalových vláknech je přibližně  $0,8 \text{ mmol.kg}^{-1}$  tělesné hmotnosti. Volných vápenatých iontů je přibližně 25 % v rychlých svalových vláknech a 70 a více % v pomalých svalových vláknech (Gissel & Clausen, 1999; Trinh & Lamb, 2006). Snížení vápenatých iontů o 35 % v sarkoplasmatickém retikulu vyvolá zmenšení tetanického svalového výkonu až o 46 %. Snížení výkonu je způsobeno snížením afinity troponinu C na vápenaté ionty (Dutka, Cole, & Lamb, 2005). K podpoře vazeb troponinu C a vápenatých iontů se využívá kofein, jako látka oddalující únavu svalových vláken. Kofein podporuje další vyplavování vápenatých iontů z T-tubulů (Allen, Lamb, & Westerblad, 2008; Allen & Westerblad, 2001; Westerblad, Bruton, Allen, & Lannergren, 2000). Iontová nerovnováha iontů je navracena do původního rozložení kolem membrány spotřebou energie, které se říká aktivní transport.

### 2.1.3 Kontrakce příčně pruhovaného svalu

Posun hlavic je podobný veslování, kdy hlava myozinu se naváže na aktin pod úhlem 90° a pak se v krčku ohne pod úhlem 45°. Při reakci ATP vzniká ADP a volný P, kdy se stabilizuje komplex (Marieb, 2006).

Při kontrakci dojde ke zkrácení téměř o jednu třetinu původní délky, vycházejí z tzv. modelu klouzavých filament (sliding filament model). Tento model má tyto charakteristiky:

- délka tlustých a tenkých filament se při smrštění (kontrakci) nemění;
- místo toho se zkracuje délka sarkomer, neboť oba typy filament se silně překrývají – tlustá a tenká filamenta se do sebe zasouvají;
- síla kontrakce vzniká procesem, který aktivně nechá vedle sebe klouzat jeden typ filament se sousedním filamentem druhého typu (Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003).

Po působení ATP na hlavu myozinu se vazba oddělí a může tak vzniknout nové aktomyozinové spojení (posun svalových vláken). Tento proces se opakuje až do úplného vyčerpání ATP a CP jako okamžitých zdrojů energie. Tenká filamenta jsou tažena po dráze cca 7,5 nm. Vazba ATP na hlavu myosinu způsobí velmi rychlé uvolnění komplexu spojení myosinu a aktinu. Hydrolýzou ATP na ADP a P na uvolněném myosinu se konformační změna opět vrací do původního stavu a myosinové hlavy jsou připravené pro další vzájemné působení s aktinem (Trojan, 1999).

Nedostatečné nebo úplné zastavení dodávky ATP ke kontrahovaným svalovým filamentům způsobuje ztuhlost svalů. Příčinou je nenavázání ATP na myozinovou hlavu a nedojde tak k přerušení příčných můstků jako při běžném stahu (Baechle & Earle, 2008; Trojan, 1999). Frekvence mezi uvolněním vazeb a znovuvytvořením komplexu aktinu a myozinu je 5-50 Hz. Předpokládá se určitá zásoba  $\text{Ca}^{2+}$  v sarkoplazmě (Trojan, 1999). Vápenaté ionty jsou zpět do endoplazmatického retikula aktivně pumpovány ATPázovým systémem. Při spotřebě 1 molekuly ATP se přepraví 2 vápenaté ionty. Součástí vyvážení iontové rovnováhy je přítomnost  $\text{Mg}^{2+}$ , kdy se dva vápenaté ionty přečerpávají na úkor jednoho hořčnatého iontu. (MacIntosh, Gardiner, & McComas, 2006; Marieb, 2006).

## **Projevy kontrakce svalu**

Délka a síla svalu se mění podle počtu vytvořených aktomyozinových můstků. Pokud je velký počet těchto spojení, sval se vyznačuje velkou silou kontrakce při minimálním svalovém protažení, nastává nejčastěji při maximální izometrické volní kontrakci. Při napojení velkého počtu hlav se aktivují obranné mechanismy před svalovým přepětím a síla stahu se zmenšuje. Závislost mezi délkou a silou kosterních svalů je určena podle Gordonovy křivky (Kraemer & Hakkinen, 2009; Trojan, 1999).

Velikost svalové kontrakce závisí na frekvenci vzruchů přicházejících z CNS přes nervosvalovou ploténku ke svalovým vláknům. Pokud je příchozí akční potenciál přiváděn postupně, jedná se o vlnitý tetanus. Je doprovázen přesunem vápenatých iontů do sarkoplazmatického retikula. Objevuje se často u pomalých vláken, které se vyznačují nízkou frekvencí vzruchů. V opačném případě, kdy sumace vzruchů přichází v menších intervalech hlavně u rychlých vláken, mluvíme o hladkém tetanu. Nedojde k původnímu rozložení iontů na membráně a koncentrace vápníku bude zvýšena po delší dobu. Pokud je zátěž minimální a frekvence vzruchů je vysoká, délka svalu se mění rychleji (Allen, Lamb, & Westerblad, 2008; Baechle & Earle, 2008). Naopak při izometrické svalové práci nedochází ke změně délky svalových vláken. Délka svalu se mění při izotonickém stahu. Tento stav nastává velmi zřídka, v reálu se mění i tonus. Na iontové úrovni se jedná o trvalejší depolarizaci membrány, která se vyznačuje dlouhodobějším zkrácením svalu (Kraemer & Hakkinen, 2009).

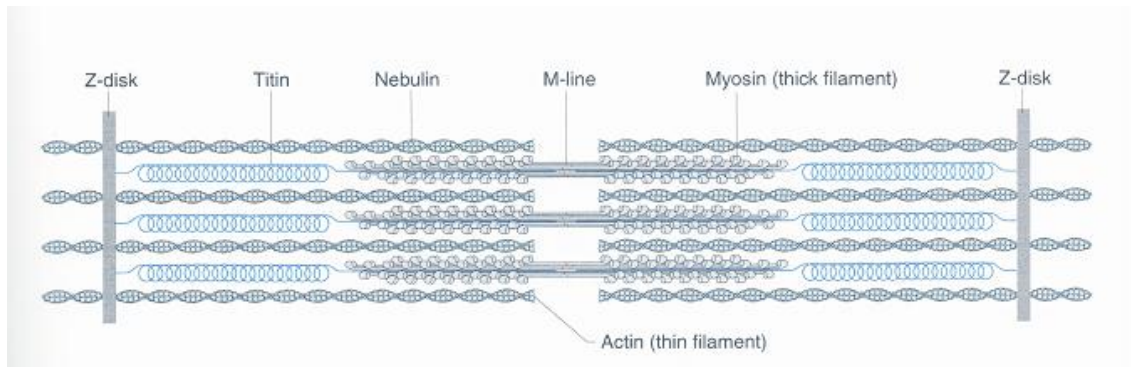
### **2.1.4 Napětí svalu**

Nervosvalový systém provádí také zpětnovazební kontrolu přepětí svalů a prodloužení svalového úponu. Nezbytnou součástí je kontrola a zachycení maximálního možného napětí z důvodu prevence úrazů. Napětí svalu je regulováno svalovými vřetenky, která představují regulátor napětí. Jako obranný aparát proti přepětí svalových vláken působí Golgiho šlachová tělíska, která prostřednictvím míchy utlumí funkci antagonistů. Mluvíme pak o svalovém reflexu (Trojan, 1999).

Titin (connectin) působí jako molekulární „pružina“ a stabilizuje tlustá filamenta. Je připojen na I-linie svalové struktury (světlá místa sarkomery), kde se podílí na udržování napětí v sarkoplasmě a je napojen na tlustá myosinová vlákna, kde

vyrovnává tah při zkrácení nebo prodloužení. Nebulin má podobnou funkci jako titin, ale podílí se na regulaci napětí tenkých aktinových vláken (obr. 3). Jak je známo, udržuje hlavně svalové napětí v klidovém stavu (Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003).

**Obrázek 3: Umístění titinu a nebulinu v sarkomeře u příčně pruhovaného svalstva (Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003)**



## 2.2 SVALOVÁ VLÁKNA A JEJICH VLASTNOSTI

Základní hybnou jednotkou jsou kosterní svaly, jejichž základní charakteristikou je jejich schopnost kontrakce, relaxace. Vyznačují se stažlivostí, dráždivostí, unavitelností. Všechna kosterní svalová vlákna se vyznačují schopností tvořit příčné můstky z kontraktilních bílkovin. Podle nich je označujeme příčně pruhovaná svalová vlákna, jasná z jejich struktury. Obsahují vazivo, periferní nervová zakončení, množství kapilár, zásobní struktury obsahující ionty a další enzymy zajišťující stah svalového vlákna. Na základě rychlosti svalového stahu, na množství kapilár a na odolnosti vůči únavě těchto vláken dělíme kosterní svalová vlákna do několika skupin. Autoři (Dylevský, Druga, & Mrázková, 2000; McArdle, Katch, & Katch, 2001; Watkins, 1999; J. H. Wilmore, Costill, & Kenney, 2008) uvádějí tři druhy až čtyři typy svalových vláken.

V našem textu se budeme držet rozdělení svalových vláken na tři typy a to na pomalá vlákna, také značená *I*, na rychlá červená vlákna označovaná *IIa* a na rychlá bílá vlákna *IIx*.

Svalová vlákna jsou především určena typem myozinové hlavy, dále převahou jednoho druhu metabolismu, energetickým zásobením a odolností vůči únavě.

Wilmore, Costill, Kenney (2008) dělí svalová vlákna na tři typy (*I*, *IIa*, *IIx*) podle zmíněných charakteristik, ale také podle typu myosinové ATPázy a rozvoje sarkoplasmatického retikula (tab. 1).

**Tabulka 1: Strukturální a funkční charakteristika svalových vláken (J. H. Wilmore, Costill, & Kenney, 2008)**

Charakteristiky	Svalová vlákna		
	Typ I	Typ IIa	Typ IIx
Počet vláken v motorické jednotce	≤ 300	≥ 300	≥ 300
Velikost motorické jednotky	malá	velká	velká
Rychlost nervového přenosu	pomalý	rychlý	rychlý
Rychlost kontrakce (ms)	110	50	50
Typ myosinové ATPázy	pomalý	rychlý	rychlý
Rozvoj sarkoplasmatického retikula	nízký	vysoký	vysoký

### **2.2.1 Pomalá červená vlákna (I)**

Tato vlákna se vyznačují malým průřezem (50  $\mu\text{m}$ ), nižším počtem myofibril, obsahují mnoho mitochondrií a velké množství myoglobinu. Jsou charakteristická vysokou kapilarizací. Jsou vybavena k pomalé kontrakci, vhodná k protahovacím a vytrvalostním činnostem. Pomalá vlákna jsou charakteristická odolností vůči únavě, proto zajišťují statické, polohové funkce a pomalé pohybové činnosti. U těchto vláken typu I vzniká ATP aerobními procesy, kdy se energie přeměňuje z cukrů a tuků. Zapojují se hlavně při činnostech nízké intenzity, ve sportech jako například vytrvalostní běh, maraton, chůze.

### **2.2.2 Rychlá červená vlákna (IIa)**

Charakterizujeme je jako objemnější (80-100  $\mu\text{m}$ ), mají hodně myofibril a méně mitochondrií. Enzymatické složení svalu zajišťuje rychle a velkou silou provádět pohyb, ale pouze po krátkou dobu. Mají méně kapilár než předchozí typ vláken. Jsou nepřilíš odolná vůči únavě a jejich zastoupení je důležité při rychlých pohybech a při použití velké síly.

### **2.2.3 Rychlá bílá vlákna (IIx)**

Jsou objemnější, mají málo kapilárního zásobení, vyznačují se nízkým množstvím myoglobinu ve svalu. Oxidativní enzymy jsou zastoupeny minimálně, naopak vysokou aktivitu mají vápenaté a hořečnaté ionty a zajišťují tak vysokou rychlost svalového stahu. Jsou však málo odolná vůči únavě (Dylevský, Druga, & Mrázková, 2000; J. H. Wilmore, Costill, & Kenney, 2008).

Podle Wilmora (2008) vlákna II. typu využívají pro získání energie převážně anaerobních procesů. Konkrétně se vlákna IIA uplatňují u činností, kde je zapotřebí vyvinout velkou sílu v co nejkratším čase. Zapojují se při činnostech vysoké intenzity, například při běhu nebo plavání na střednědlouhé vzdálenosti. Jejich nevýhodou je rychlá unavitelnost. Vlákna IIB nebo také označována jako IIx jsou spíše uplatňována při sprinterských disciplínách, jako běhu na 100 m nebo plavání na 50 m (J. H. Wilmore, Costill, & Kenney, 2008).

Watkins (1999) používá dělení typů svalových vláken na základě rychlosti reakce, rychlosti kontrakce a na odolnosti vůči únavě. Podle zmíněných charakteristik dělíme svalová vlákna na tři základní typy, na pomalá vlákna, rychlá vlákna odolná vůči únavě a rychlá unavitelná vlákna. Přejídná vlákna charakterizuje jako typ vláken, který se projevuje rychlou kontrakcí a je odolný vůči únavě. Rychlá vlákna se vyznačují bílou barvou a pomalá vlákna červeným zbarvením. U červených vláken (typ I) převládá oxidativní přeměna energií a u bílých vláken (typ II) převážně převládá anaerobní způsob přeměny energií.

Typy svalových vláken se liší také na základě využívané energie ve svalu a zastoupením enzymů ve svalovém vlákně. Energie je u pomalých vláken tvořena převážně aerobními procesy za dostatečného přísunu kyslíku do pracujících tkání a glykolytických enzymů. U rychlých vláken je energie získávána ze zásob glykogenu ve svaích, který se brzy vyčerpá. Každý typ vlákna je závislý na jiném typu energetického zásobení. Energetické zásoby ve vlákně se právě liší podle převažujících vláken.

Podrobnou charakteristiku svalových vláken uvádíme podle Watkinse (1999) v tabulce 2.

**Tabulka 2: Charakteristika pomalých a rychlých svalových vláken podle Watkinse (1999)**

	Pomalá vlákna, odolná vůči únavě	Rychlá vlákna, odolná vůči únavě	Rychlá vlákna, unavitelná
Aktivace svalového vlákna	nízká	střední	vysoká
Rychlost kontrakce (ms)	100-120	40-45	40-45
Inervace svalového vlákna	nízká	střední	vysoká
Typ a označení svalového vlákna	I	II A	II B
Průměr svalového vlákna (μm)	7-14	12-20	12-20
Rychlost svalové činnosti (ms)	40-80	65-120	65-120
Trvání a velikost síly	dlouho, malá síla	dlouho, relativně velká síla	krátce, velká síla
Druh aktivity	Dlouhé tratě, běh, plavání.	Jízda na kajaku a veslování	Sprinterské disciplíny, hody, skoky, vzpírání.

### **Velikost svalového stahu je určena:**

- Počtem zapojených svalových vláken - čím více vláken, tím větší sílu je možné vyvinout. Velikost vyvinuté síly je dána průřezem svalového vlákna, které je závislé na celkovém množství myofibril.
- Průřezem svalového vlákna - je součtem všech průřezů svalových vláken ve svalu, pro přímé měření fyziologického průřezu se používají zobrazovací metody nebo lze průřez odhadnout na základě Weberova vzorce (hmotnost svalu/střední délka svalu).
- Počtem aktivovaných motorických jednotek - jedna motorická jednotka (skupina svalových vláken) je inervována jedním motorickým vláknem tzv.  $\alpha$ -motoneuronem. Motorické jednotky nejsou stejně velké a nejsou aktivované současně.
- Elasticitou svalů a šlach - velikost kontrakce je aktivována napětím elastických složek svalu a šlachu. Největší elastická síla se projeví při maximálním protažení svalu (Dylevský, Druga, & Mrázková, 2000; Havlíčková et al., 1999).

Procentuální zastoupení jednotlivých svalových vláken ve svalu je určující pro úspěšné vykonávání rychlostních nebo vytrvalostních sportů. Vyšší zastoupení rychlých vláken (typ II, FG, bílá) předurčuje vysokou výkonnost ve sprinterských disciplínách. Naopak pomalá vlákna (typ I, SO, červená) vedou k vytrvalostním sportům.

Průměrné zastoupení svalových vláken v těle dospělého člověka u běžné populace tvoří 50 % typu I (pomalá vlákna), 25 % vláken je typu II A a 25 % typu II B. Zastoupení svalových vláken se mění v závislosti na svalu. S převažujícím typem tréninku a v závislosti na sportovní činnosti se zastoupení jednotlivých druhů svalových vláken v jednotlivých svalech může měnit (tab. 3). Ve srovnání mají vrcholoví sportovci jiné zastoupení svalových vláken. Například sprinteři se vyznačují vysokým podílem rychlých vláken typu II B než vytrvalci, u kterých převládají vlákna typu I (Watkins, 1999).

Wilmore et al. (2008) uvádí, že u vrcholových vytrvalců a vytrvalkyň je lýtkový sval tvořen až z 90 % typem I.



**Tabulka 3: Procentuální zastoupení svalových vláken typu I a typu II u vybraných svalových skupin v závislosti na pohlaví sportovců (J. H. Wilmore, Costill, & Kenney, 2008)**

Sportovci	Pohlaví (M/F)	Sval	% typu I	% typu II	Velikost průřezu ( $\mu\text{m}^2$ )	
					Typ I	Typ II
Sprinteři	M	Gastrocnemius	24	76	5878	6034
	F	Gastrocnemius	27	73	3752	3930
Vytrvalci	M	Gastrocnemius	79	21	8342	6485
	F	Gastrocnemius	69	31	4441	4128
Cyklisti	M	Vastus lateralis	57	43	6333	6116
	F	Vastus lateralis	51	49	5487	5216
Plavci	M	Posterior deltoid	67	33		
Vzpěrači	M	Gastrocnemius	44	56	5060	8910
	M	Deltoid	53	47	5010	8450
Triatlonisté	M	Posterior deltoid	60	40		
	M	Vastus lateralis	63	37		
	M	Gastrocnemius	59	41		
Kanoisté	M	Posterior deltoid	71	29	4920	7040
Vrhači	M	Gastrocnemius	38	62	6367	6441
Sportovci	M	Vastus lateralis	47	53	4722	4709
	F	Gastrocnemius	52	48	3501	3141

Zastoupení svalových vláken v závislosti na prostředí a genetických předpokladech byly zjišťovány rozborem svalových vláken u dvojčat. Zastoupení svalových vláken I je ovlivněno asi ze 40 % prostředím, dědičné faktory ma 45% podíl a 15 % je ovlivněno vnější a vnitřní variabilitou organismu (Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003; Sieck & Prakash, 1997; Staron, 1997).

Pohybová aktivita vede k diferenciaci svalových vláken, dochází tak k individuálnímu přizpůsobení organismu podle převažující pohybové aktivity, nejvíce však můžeme ovlivnit vytrvalostní schopnosti a nejméně rychlostní schopnosti (Dylevský, Druga, & Mrázková, 2000). Rychlostní schopnosti jsou nejvíce geneticky determinovány, a to asi z 65-80 % zvláště převahou rychlých svalových vláken. Nejvíce je geneticky podmíněna reakční rychlost. Geneticky je také podmíněno zastoupení svalových vláken. Podíl rychlých vláken u sprinterů dosahuje 80-90 %. Maximální síla, svalový výkon jsou geneticky determinovány až 70% (Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003; Bouchard, Malina, & Pérusse, 1997).

Pohlaví má nezastupitelný vliv při rozboru zastoupení žen v silových disciplínách. Svalová síla lineárně stoupá s věkem (od 5,7 let do 13,15 let) až do

adolescentního období, kdy vlivem hormonů hlavně testosteronu můžeme konstatovat rozdílné výkony v silových výkonech u chlapců a dívek. Ukazuje se, že u mužů převládají vlákna II. typu s vyšším zastoupením anaerobních enzymatických látek, vyšší rychlostí kontrakce v porovnání s ženskou populací. Velikost průřezu svalových vláken je u obecné mužské populace také větší než u žen (Van Praagh & Doré, 2002).

## **2.3 METABOLISMUS SVALOVÉ ČINNOSTI**

Metabolismus je souhrnný název pro katabolické i anabolické děje, které probíhají v organismu při přeměně látek a energií. Hlavním zdrojem poskytované energie při svalové kontrakci slouží makroergní fosfáty obsažené v cukrech, tucích a bílkovinách. Jejich rozkladem vznikají biologické látky použitelné jako zdroj energie v cílových svalových tkáních. Okamžitý zdroj energie představují molekuly adenosin trifosfátu (ATP). Svalová práce je možná jen za přítomnosti dostatečného množství ATP. Při vyčerpání ATP a kreatin fosfátu (CP) dojde ke změně metabolismu na anaerobní proces výroby. V případě nedostatečného přívodu kyslíku do pracujících tkání mluvíme o laktátové anaerobní přeměně látek a energií, v opačném případě se jedná o aerobní přeměnu (Baechle & Earle, 2008; Hargreaves & Spriet, 2006).

Při každé pohybové aktivitě, hlavně při zvýšené intenzitě cvičení, se zrychluje látková výměna. Zvýšením potřeby energetických zdrojů jsou aktivovány další soustavy. Dostatečný přísun energie je zajišťován zvýšenou funkcí kardiorepiračního systému, který byl excitován z vyšších center nervové soustavy. Zvýšená výroba energie je prvotně aktivována nedostatečným zásobením ve svalech. Zvýšenou potřebou jsou aktivovány metabolické reakce přeměny složitých látek na jednoduché (Havlíčková et al., 1999).

ATP vzniká sloučením ADP a fosfátového iontu (P), který se odštěpí z CP. Jedná se o reakci zvanou fosforylace, která je za přítomnosti kyslíku nazývána oxidativní (aerobní) fosforylace, bez kyslíku neoxidativní (anaerobní) fosforylace. Na výrobě okamžitého zdroje energie se podílí všechny druhy metabolismu, ale v jiném poměru. Převažující druh metabolismu je závislý na intenzitě a době trvání pohybové činnosti (Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003; Baechle & Earle, 2008). Pokud dojde ve svalu k vyčerpání chemické energie, je potřeba dodat nové energetické zdroje a oddálit tak nástup únavy (Baechle & Earle, 2008; Hargreaves & Spriet, 2006).

## Druhy metabolismu

Oxidativními a neoxidativními reakcemi vzniká další množství ATP. Vznik ATP zajišťují tři druhy metabolismu. Dělíme je podle přítomnosti kyslíku v pracujících tkání a podle vzniku odpadních produktů metabolismu.

1) Alaktátová anaerobní krytí-nazývá se také jako přímá fosforylace, jedná se o reakci kreatin fosfátu (CP) jako vysokoenergetické molekuly, která se slučuje s adenosin difosfátem (ADP) zbytkové molekuly po rozkladu ATP. CP se nalézá v omezené míře pouze ve svalových vláknech, kde vzniká jeho sloučením s ADP nový energetický zdroj ATP. Tento druh metabolismu je využíván při činnostech trvajících maximálně do 20 sekund.

2) Anaerobní glykolýza - jako zdroj energie je využívána glukóza, která se bez přítomnosti kyslíku přeměňuje na pyruvát a malé množství okamžitého zdroje energie ATP (z jedné molekuly glukózy vzniknou dvě molekuly ATP). Pyruvát se přeměňuje na kyselinu mléčnou, která se rozpadá na  $H^+$  ionty a na laktát. Přeměna trvá 30-60 sekund a vyprodukuje se pouze 5 % ATP v poměru k výrobě pomocí oxidativní fosforylace. Oxidativní přeměna probíhá při nízké intenzitě cvičení (Hargreaves & Spriet, 2006; Marieb, 2006).

3) Aerobní fosforylace - reakce je podmíněna dostatečným přívodem kyslíku ke svalovým tkáním. Reakce probíhá při odpočinku nebo při cvičení o nízké intenzitě, je získáváno 95 % ATP. Tvorba ATP je vázána na mitochondrie a za stálého přísunu kyslíku se přeměňuje z glukózy a mastných kyselin. Jako odpadní produkty při aerobní fosforylaci vznikají oxid uhličitý a voda, které jsou vylučovány při dýchání. Z jedné molekuly glukózy vznikne 36 molekul ATP.

Doplňování CP je nejvíce kryto odbouráváním mastných kyselin (až  $\frac{3}{4}$ ), které jsou transportovány krví do mitochondrií, kde se přeměňují na ATP. Vyprodukovaná chemická energie z vazeb molekul glukózy je ze 40-50 % přetvořena na mechanickou práci. Na činnost svalů připadá přitom kolem 20-25 %. Zbytek energie odchází v podobě tepelných ztrát a je spotřebováván na činnost bazálních funkcí (Marieb, 2006).

Podle Baechleho a Earla (2008) je zastoupení jednotlivých energetických krytí závislé na intenzitě a době trvání cvičení. Všechny tři metabolické přeměny se vyskytují při všech pohybových činnostech, ale v jiné míře zastoupení (tab.4). Při maximální intenzitě zatížení je hlavním zdrojem anaerobní alaktátový metabolismus, který

přetrvává pouze do 5-10 s podle vyvíjené aktivity. Při aerobní činnosti se zapojuje jen ze 4 %. Při nižší intenzitě, ale delší době trvání ( $\geq 90$  min) se podílí aerobní metabolismus z 65 %.

**Tabulka 4: Zastoupení jednotlivých energetických krytí zjišťované na bicyklovém ergometru v závislosti na délce cvičení (Baechle & Earle, 2008)**

<b>Intenzita cvičení/Doba trvání činnosti</b>	<b>0-5 sekund</b>	<b>30 sekund</b>	<b>60 sekund</b>	<b>90 sekund</b>
Zastoupení alaktátové anaerobního krytí, maximální intenzita cvičení (%)	100	55	55	31
Zastoupení anaerobní glykolýzy, submaximální intenzita cvičení (%)	96	75	50	35
Zastoupení aerobní fosforylace, mírná intenzita cvičení (%)	4	25	50	65

### **2.3.1.1 Alaktátové anaerobní krytí**

Fosfátové prvky ATP a CP slouží jako okamžitý zdroj energie při cvičeních s vysokou intenzitou a krátkou dobou trvání, maximálně do 15 s při nízké intenzitě pohybu (na začátku aerobního metabolismu) a 3-5 s při vysokých intenzitách (několikanásobné odrazy, sprinterské disciplíny). Alaktátová forma energetického krytí se účastní každého cvičení o různých intenzitách, ale pouze na začátku činnosti do několika sekund. Koncentrace ATP po zátěži klesá o 20 až 40 % než při klidovém stavu organismu. Většina ATP je spotřebována na enzymatické reakce doprovázené při metabolismu a také jako zdroj energie pro aktivní přechod iontů na membránách (aktivita sodíkodraslíkové pumpy, přesun vápenatých iontů, aktivita ATPázy a jiných enzymů) (Hargreaves & Spriet, 2006). Někteří autoři (Allen, Lamb & Westerblad, 2008) uvádí dobu alaktátové anaerobní aktivity pouze na 4 až 6 s pohybové činnosti. Dále se převažně zapojuje jiný druh metabolického krytí.

### 2.3.1.2 Anaerobní glykolýza

Anaerobní glykolýza je přeměna látek a energií, kdy při nedostatečném přísunu kyslíku nebo oxidativních enzymů v pracujících tkáních, vzniká kyselina mléčná (Hargreaves & Spriet, 2006). Výhradní zdroj energie, který vystačí na delší dobu a je přeměňován na ATP anaerobní glykolýzou, se nazývá glykogen (Allen & Westerblad, 2010; Allen, Lännergren & Westerblad, 2002). Během přeměny látek anaerobní glykolýzou stoupá koncentrace krevního laktátu rovnoměrně s intenzitou a délkou cvičení z 1 mmol.kg<sup>-1</sup> až na 25 mmol.kg<sup>-1</sup>. Právě volné H<sup>+</sup> ionty způsobují svalovou únavu snížením pH. Pokles pH vzhledem k pohybové činnosti shrnul Cairns (2006) (tab. 5). Nízké pH zpomaluje glykolytickou přeměnu látek. Přímo je narušena svalová kontrakce a jemná svalová koordinace. Působením H<sup>+</sup> iontů je bráněna vazba Ca<sup>2+</sup> s troponinem (Cairns, 2006). Jako zpětný zdroj energie je využíván laktát, který se přeměňuje převážně v játrech na glukózu. Zpětné využití laktátu jako zdroje energie se nazývá glukoneogeneze. Slouží jako zdroj energie pro aktivitu srdeční svaloviny (Baechle & Earle, 2008).

Hlavní využití tohoto metabolismu je při zátěži o submaximální intenzitě s dobou trvání kolem 45-90 s. Uplatňuje se také při činnostech trvajících delší dobu, kdy funkční stav organismu není schopen dodávat dostatečné množství kyslíku na úhradu energetického krytí oxidativním metabolismem (Havlíčková et al., 1999).

**Tabulka 5: Velikost nitrosvalového pH v závislosti na intenzitě a trvání cvičení (Cairns, 2006)**

Pohybová činnost	Typické hodnoty pH <sub>m</sub> <sup>+</sup> (rozsah)
Klid	7,0 (6,9-7,2)
Dynamická cvičení-spojité činnosti	
10 s sprint	6,94
20 s sprint	6,82
30-60 s sprint	6,7 (6,6-6,9)
1,5-11 min (maximální intenzitou)	6,5 (6,3-6,9)
> 60 min (submaximální intenzitou)*	7,0 (6,95-7,05)
Dynamická cvičení-přerušovaná	
20 min (délka cvičení 30-40 s, opakování)	6,46
Statická cvičení >45 s (60-100 % MVIC)	6,5 (6,4-6,9)

MVIC-maximální volní izometrická kontrakce, \*intenzita cvičení vyznačující se 60-90 % maximální spotřebou kyslíku. <sup>+</sup>pH<sub>m</sub>=log<sub>10</sub> [H<sup>+</sup>]<sub>m</sub> zjištěno ze svalové biopsie vzorků z quadricepsu femoris nebo m. gastrocnemius po zátěži na bicyklovém ergometru nebo na běhacím pásu.

Koncentrace laktátu ve svalové tkáni může dosahovat během intenzivního cvičení hodnot až 40 mmol.l<sup>-1</sup> a hodnoty v krevní plasmě rostou až na 25 mmol.l<sup>-1</sup>. Množství laktátu ve svalové tkáni a v krevní plasmě nemá přímý vliv na maximální

výkon ve svalecth. Větší význam na svalovou únavu má nahromadění laktát v intracelulárním prostředí, kde omezuje schopnost myofilament kontrakce a relaxace (Meyer, Adams, & Fisher, 1991; Westerblad & Allen, 1992).

Jiné studie (Favero, Zable, & Bowman, 1995; Favero, Zable, Colter, & Abramson, 1997) uvádí, že laktát zhoršuje vyplavování vápenatých iontů ze sarkoplazmatického retikula. Pokud do svalového vlákna bylo dodáváno 20-30 mmol.l<sup>-1</sup> laktátu zmenšilo se množství vyplavených vápenatých iontů o 10 %. Jak uvádí Dutka a Lamb (2000), zdrojem svalové únavy není primárně laktát. Zprostředkovaně inhibuje přenos dalších látek a iontů, které se podílejí na svalovém stahu (tab. 6). Během dlouhodobého cvičení o submaximální intenzitě má acidóza pouze malý vliv na výkon, stejně tak u cvičení maximální intenzity, které trvá méně než 30 s. Snížení pH se objevuje hlavně při cvičení o střední až maximální intenzitě, které trvá 1-10 min. Hodnota pH se snižuje na hodnoty 6,5. Odolnost svalových vláken proti kyselosti prostředí závisí na jejich typu. Nejméně odolná vůči únavě jsou rychlá svalová vlákna, kde se udržují nejdéle vodíkové ionty. Rozdílné nitrosvalové pH bylo zjištěno u činností rozdílných svalových kontrakcí. Po statické svalové práci bylo zaznamenáno magnetickou resonancí pH kolem 6,5. Nejnižší reálné pH bylo zjištěno kolem 6,2 (Achten, VanCauteren, & Willem, 1990).

**Tabulka 6: Procesy spojené se snížením pH ve svalovém vláknu (Cairns, 2006)**

Mechanismy
<b>Kontraktilita svalových vláken</b>
<b>Fukce myofilament</b>
↓ maximálního výkonu* (↓ tvorba příčných můstků)
↓ citlivosti na Ca <sup>2+</sup> (↓ vazba troponinu na Ca <sup>2+</sup> )
↓ maximální rychlosti zkrácení svalových vláken (↓ aktivita myozinové ATPázy)
<b>Proces excitace a kontrakce</b>
↓ množství Ca <sup>2+</sup> v sarkoplasmatickém retikulu (↓Ca <sup>2+</sup> aktivita otevírání tubulů, ↓ pohyb iontů přes membránu)
↓ přechodu Ca <sup>2+</sup> přes sarkoplasmatické retikulum (↓aktivita vápeno-ATPázové)
<b>Metabolické procesy</b>
↓ okamžitého zdroje energie ATP z hydrolýzy
↓ aktivita glykolýzy/glykogenolýzy (↓ aktivita fosfofruktokinázy, ↓ aktivita glykogen fosforylázy)
↓ aktivita cyklického adenosin monofosfátu (cAMP)
<b>Jiné buněčné procesy</b>
↑ propustnost K <sup>+</sup> pomocí ATPázy

\* Maximální výkon je zajišťován vysokou koncentrací Ca<sup>2+</sup>, navázání Ca<sup>2+</sup> s troponinem. ATP-adenozintrifosfát, ATPáza- enzym adenosin trifosfatáza, cAMP-cyklický adenosin monofosfát, ↓ -snížení, ↑-zvýšení.

Rychlost poklesu pH závisí na pufrovací kapacitě krve a svalů, neboli schopnost krve neutralizovat volné  $H^+$  a zpomalovat snižování pH v pracujících svalech. Pufrovací kapacita je závislá na trénovanosti sportovce a má velký význam na sportovní výkon. Mezi hlavní pufrovací látky patří fosfáty, některé bílkoviny (hemoglobin, histidin), karboxylové kyseliny a jejich soli ( $HCO_3^-$ ,  $NaHCO_3^-$ ) (Wilmore, Costill, & Kenney, 2008). Zvýšená koncentrace krevního laktátu je považována za ukazatel intenzity zátěže a adaptace na tréninkové dávky. Avšak laktát není považován za primární příčinu svalové únavy. Zavisí na množství a rozložení iontů a enzymů na membránách a také na množství pufrovacích látek (Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003). V případě některých cvičení se hodnoty laktátu výrazně nezvýší, jak je tomu například po dynamických činnostech vykonávaných s maximální intenzitou (Allen, Lamb, & H. Westerblad, 2008).

### **2.3.1.3 Aerobní fosforylace**

Jedná se o systém přeměny energie při dostatečném přísunu kyslíku. Aerobní proces je zapojován při nízkých intenzitách cvičení, které trvají delší dobu. Aerobní přeměna se odehrává ve speciálních buněčných mitochondriích, kde nejen z glukózy vzniká ATP. Možnost přeměny látek a energií aerobním metabolismem je ovlivněn funkcí kardiorespiračního systému, které zprostředkovávají přenos kyslíku k výkonné jednotce.

Aerobní způsob přeměny je mnohem výhodnější než anaerobní. Při oxidativním metabolismu se z jedné molekuly glukózy vytvoří až 39 molekul ATP, kdežto v případě anaerobní přeměny se vytvoří s jedné molekuly glukózy pouze 3 molekuly ATP (Hargreaves & Spriet, 2006). V tomto případě se jedná také o glykolýzu, ale z důvodu dostatečného přísunu kyslíku se přeměňuje pyruvát v mitochondriích na acetyl koenzym A, který dále vstupuje do Krebsova cyklu, kde je metabolizován na ATP (Wilmore, Costill, & Kenney, 2008)



## **2.4 DRUHY SVALOVÉ ČINNOSTI**

Na základě pohybové činnosti a zapojených svalových vlákních rozděluje svalovou činnost, podle svalové kontrakce, podle délky a napětí, na několik druhů. Dělení silových schopností není jednotné, ani vymezení jednotlivých schopností a jejich projevy nejsou izolované systémy. Havlíčková (1999) a Watkins et al. (1999) charakterizují sílu jako dovednost odolávat vnitřnímu a vnějšímu odporu prostřednictvím svalových vláken. Významný vliv silových schopností nacházíme ve sportech, kde je překonáván odpor soupeře (zápas, judo) nebo odpor prostředí (plavání, veslování).

Dělení silových schopností je závislé na druhu pohybové činnosti, na velikosti překonávaného odporu, na rychlosti pohybu a na počtu opakování cvičení. Dráždivost a stažlivost svalstva je základem pro každou pohybovou činnost. Kontrakce svalu je doprovázena chemickými změnami ve svalu, zásobováním a přeměnou energetických rezerv ve svalovém vlákně (Dylevský, Druga, & Mrázková, 2000; Zatsiorsky & Kraemer, 2006).

Svalovou činnost můžeme rozdělovat podle několika autorů (Dovalil et al., 2002; Havlíčková et al., 1999; Wilmore, Costill, & Kenney, 2008) takto:

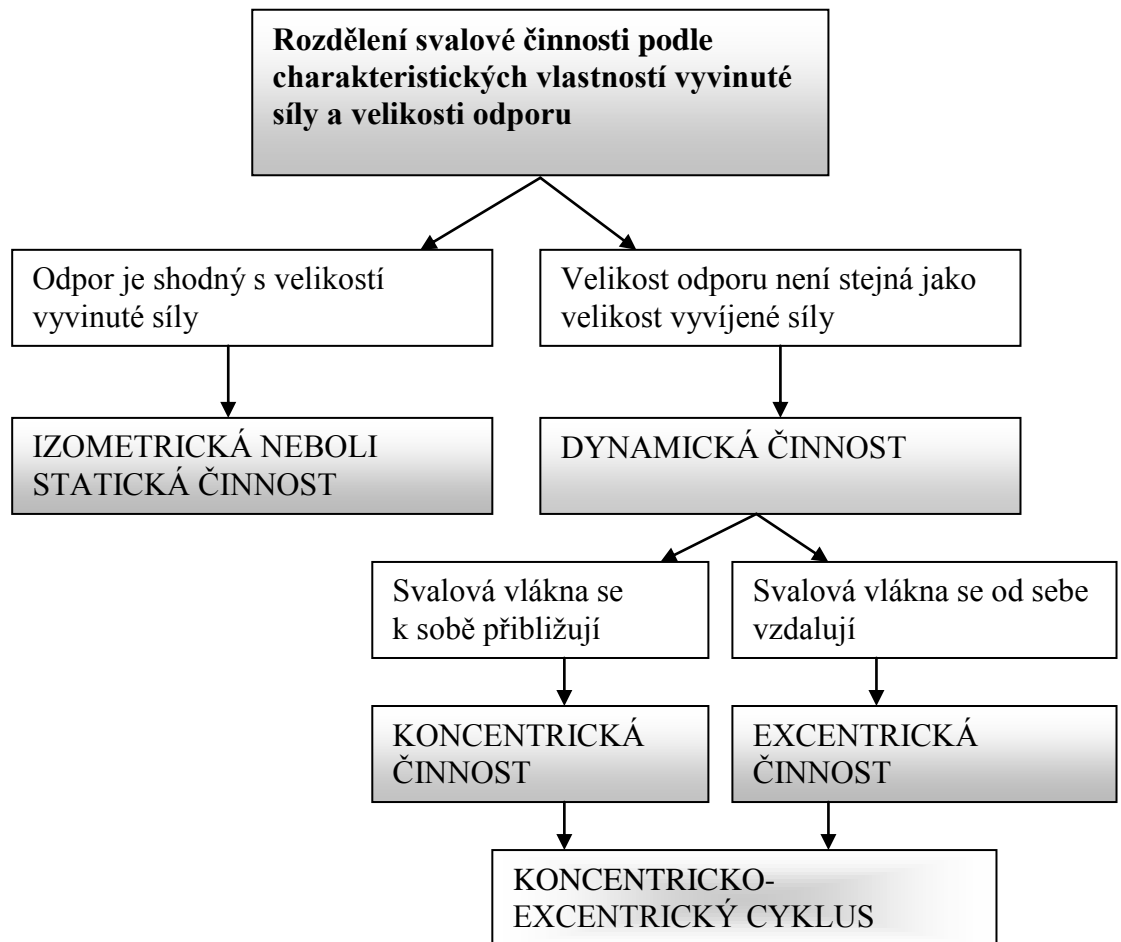
Absolutní (maximální) svalová činnost je spojena s největším možným překonaným odporem závaží nebo soupeře. Je realizována při dynamické (koncentrické nebo excentrické) svalové činnosti nebo se projevuje staticky.

Rychlá a výbušná silová činnost (explozivní) se projevuje překonáváním nemaximálního odporu, vysokou až maximální rychlostí, realizuje se při dynamické (koncentrické) činnosti svalu.

Vytrvalostní svalová činnost se projevuje překonáváním nemaximálního odporu, opakováním pohybu nebo udržení odporu co nejdéle, realizuje se při dynamické (koncentrické) nebo statické činnosti.

Dynamická svalová práce se dělí na koncentrickou a excentrickou svalovou činnost. Jednoduché dělení na základě velikosti odporu uvádíme ve schématu 1.

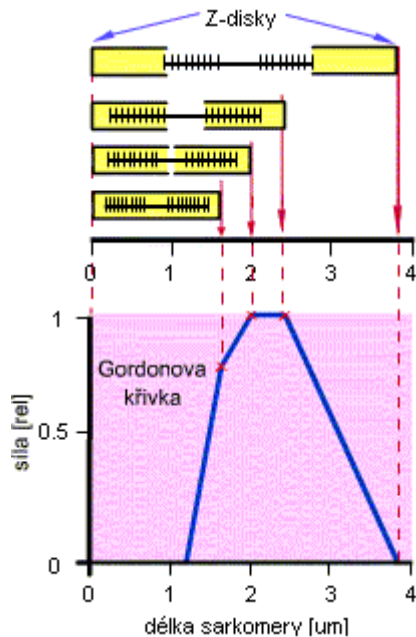
Schéma 1: Rozdělení svalové činnosti podle charakteristiky vyvinuté síly a velikosti odporu (Kraemer & Hakkinen, 2009)



### 2.4.1 Koncentrická svalová činnost

Koncentrická svalová činnost se vyznačuje překonáváním odporu břemene, při kterém se svalová vlákna k sobě přibližují. Dochází k posunu myozinových hlavic po aktinu a sval se zkracuje. Vztah mezi délkou kosterního svalu a napětím svalu při maximální volní kontrakci ukazuje Gordonova křivka (Trojan, 1999) (obr. 4).

**Obrázek 4: Gordonova křivka, vztah mezi maximem izometrické síly a délkou sarkomery (Wünsch, Kripner, & Kofránek, 2004)**



Výsledkem je překonání odporu břemene a jeho přemístění. Koncentrické činnosti se říká také pozitivní svalová práce (Brown, 2000). Koncentrická činnost se projevuje, pokud převažuje svalová činnost nad odporem. Svaly se přitom zkracují a napínají se úpony. Posun svalových vláken je spojen s tvorbou příčných můstků mezi aktinem a myozinem. Po přerušení spojení kontraktálních bílkovin se délka sarkomery vrátí do původního stavu (Heyward, 2010).

#### 2.4.2 Excentrická svalová činnost

Excentrická svalová činnost se také nazývá brzdivá, velikost odporu je většinou větší než vykonávaná svalová práce a šlachy svalových vláken se od sebe vzdalují. Odporem je samotná gravitační síla nebo dopad břemene nebo vlastního těla. Z důvodu oddalování svalových hlavic od sebe při excentrické činnosti mluvíme o brzdivé činnosti nebo také ji označujeme jako negativní vykonanou práci (Baechle & Earle, 2008; Heyward, 2010).

Koncentrická a excentrická činnost svalu se v praxi střídají (Heyward, 2010; Kraemer & Hakkinen, 2009). Kombinací obou těchto svalových projevů, při kterých se

zkracuje čas excentrické a koncentrické činnosti, vznikají plyometrická cvičení. V praxi tento projev známe jako dopad a okamžitý odraz ze země nebo ze zvýšené podložky (Brown, 2000). Tato kombinace je velmi náročná na fyziologickou strukturu a připravenost svalových vláken. Při nedostatečně dlouhé obecné přípravě může dojít ke svalovému zranění. Pozitivním bodem tohoto cvičení a jeho aplikace v tréninku je zlepšování nitrosvalové koordinace a zvyšování střídání excitační a inhibiční fáze nervosvalového systému (J. H. Wilmore, Costill, & Kenney, 2008).

### **2.4.3 Izometrická svalová činnost**

Izometrická cvičení můžeme také definovat jako silovou kontrakci, která působí proti pevnému stálému odporu bez zrychlení nebo zpomalení přemísťovaného břemene. Cvičení se projevují bez svalového zkrácení nebo prodloužení svalového snopce. Někdy jsou označována jako statická (Brown, 2000). Podle Trojana (1999) nedochází při čistě izometrickém svalovém stahu k ohnutí krčku myozinové hlavice a síla je přenášena přes elastické komponenty svalu.

Tato činnost se často projevuje jako největší svalový výkon. Jedná se pak o maximální volní kontrakci, na které se podílí všechny druhy svalových vláken. Proto je sportovec po izometrické kontrakci zcela unaven. Jedná se o projev, který probíhá po velmi krátkou dobu, kolem 2 sekund (Seliger, 1974).

### **2.4.4 Izotonická svalová činnost**

Kraemer a Hakkinen (2009) popisují izotonickou svalovou činnost, jako schopnost kontrakce svalových bílkovin, kdy svalový tonus zůstává stejný, mění se délka svalu. Jedná se o činnost, při které působíme proti konstantnímu odporu bez zrychlení nebo zpomalení pohybu. Projevuje se jako tlačení proti pevnému odporu, proti závaží nebo proti soupeři bez posunu působí zátěže (činka, soupeř).

Napětí neboli tonus svalu nelze pravidelně kontrolovat. Jestliže jsou některé svalové skupiny v klidovém stavu, jiné mohou být kontrahovány. Svalové napětí je schopnost svalstva udržet jeho aktivitu a rychlé reakce na adekvátní podnět. Tato vlastnost příčně pruhovaných svalových buněk je řízena automaticky pomocí specifických motorických neuronů vycházejících z CNS (Kraemer & Hakkinen, 2002; MacIntosh, Gardiner, & McComas, 2006).

## 2.4.5 Izokinetická svalová činnost

Izokinetická svalová činnost se vyznačuje konstantní rychlostí pohybové činnosti, převážně vykonávaná ve stejné rovině. Osa otáčení probíhá kloubem mezi segmenty, u kterých měříme izokinetický svalový výkon. Zmínky o tomto druhu silové činnosti jsou datovány na 60. léta 20. století. Výzkumy, v těchto letech, byly převážně zaměřeny na zjištění vlivu rehabilitačních a tréninkových programů na pohybový aparát po zranění.

Izokinetická kontrakce (Heyward, 2010) se vyznačuje konstantní rychlostí pohybu při měnícím se odporu. Rychlost je kontrolována mechanicky a odpor se mění podle aktuální velikosti působící síly proti rameni otáčení v případě použití izokinetických dynamometrů. Úhlovou rychlost si můžeme nastavit podle specifikace pohybové činnosti, která v daném sportovním odvětví převažuje.

Při izokinetických pohybech, které jsou realizovány na izokinetických dynamometrech, se střídají činnosti flexorů a extenzorů. Můžeme určit rozdílné hodnoty silového projevu na pravé a levé končetině, současně rovnováhu mezi flexory a extenzory na jedné končetině. Projevy izokinetické činnosti můžeme hodnotit pomocí maximálního svalového výkonu v každém úhlu otáčení nebo v závislosti na čase. Jako další zjišťované parametry, které se hodnotí u svalového projevu, jsou maximální moment síly, okamžitý a průměrný výkon nebo celková práce (Fleck & Kraemer, 1987; Zatsiorsky & Kraemer, 2006). Celková práce je závislá na rozsahu pohybu v daném kloubu a na dotahování pohybu do krajních poloh (Seliger, 1974). Pomocí vyjmenovaných parametrů zjišťujeme aktuální stav svalového aparátu (Brown, 2000).

## 2.5 ÚNAVA

Únava je komplexní biologický stav, mající vliv na celý organismus. Postihuje hlavně svalový aparát, kardiorepirační soustavu, nervový systém projevující se zhoršenou koordinací a psychikou. Únava se projevuje snížením funkceschopnosti organismu a potřebou ukončení činnosti a nutností nástupu zotavení. Při činnostech před nástupem únavy jsou v rovnováze metabolické děje, dodávka kyslíku, iontové rozložení, dodávka živin, odvod zplodin metabolismu a při dobré adaptaci na zátěž je organismus tento stav schopen udržet po delší dobu. Jakmile je tento harmonický stav porušen, objeví se diskoordinace pohybů, vzniká kyslíkový dluh, nedojde k dostatečné obnově energie, klesá výkon a objevují se známky únavy.

Únava je komplexní děj, kde se jedná o souhrnný proces poklesu výkonu fyzického (svalového), ale i psychického (nervového). Podle nástupu a trvání únavy můžeme únavu dělit na akutní (rychlou) a dlouhodobou (pomalou). Toto dělení je spojeno s intenzitou cvičení a druhem pohybové činnosti. Jinak probíhá únava při maximální intenzitě cvičení trvající krátkou dobu, při submaximální intenzitě a mírné intenzitě. Podle rozsahu projevů únavy ji dělíme na centrální (celkovou) a lokální (místní).

### 2.5.1 Centrální únava

Celková nebo také centrální únava vychází z útlumu funkcí CNS jako obranné reakce organismu na vysoký proud aferentních vzruchů z činného svalstva. Volní svalová kontrakce je účinkem komplexní série vzruchů vedoucích z centrální nervové soustavy (mozek a mícha) přes nervové přenašeče (nervy) až po funkční motorické jednotky  $\alpha$ -motoneurony připojeny na sarkoplasmatické retikulum svalových vláken (Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003).

Aktivace motorických jednotek závisí na aktivitě sympatiku a parasympatiku. Aktivita sympatiku se během cvičení zvyšuje a aktivita parasympatiku se snižuje. Sympatické dráždění je závislé na vyplavování adrenalinu a noradrenalinu z dřeně nadledvin a působí tak na dráždění a zvýšení srdeční činnosti (Cochrane, 2004; McArdle, Katch, & Katch, 2001). Při cvičení o vysoké intenzitě a době trvání bez adekvátního zotavení dochází k nadměrnému dráždění sympatiku.

Celková únava vychází z neschopnosti CNS dodávat dostatečný počet vzruchů. Na rozdíl od periferní únavy, kde hlavním zdrojem únavy je nedostatek ATP nebo vápenatých iontů a nahromadění zplodin anaerobního metabolismu (Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003; MacIntosh, Gardiner, & McComas, 2006).

### **2.5.2 Lokální únava**

Lokální únava je charakterizovaná několika působícími faktory, které vyvolávají změny v pracujících svaích. Jednou z příčin únavy je vyčerpání energetických zásob ve svalu, porušení iontové nerovnováhy na membráně, pokles objemu vody, snížení zásob iontů a zvýšená koncentrace některých látek (např. laktátu). Mezi objektivní projevy únavy můžeme řadit zvýšenou koncentraci odpadních produktů metabolismu. Lokální únava vzniká při činnostech, které jsou vykonávány pouze určitou svalovou skupinou. Lokální únava může být odstraňována stejně jako centrální. Ve většině sportovních činností se jedná o kombinaci únavy lokální i centrální. Lokální únava se může projevit jako snížení výkonu při činnosti, kde se převážně zapojují jen určité svalové skupiny důležité pro daný výkon a sportovní odvětví. Lokální únavu můžeme dělit podle dalších hledisek jako je rychlost nástupu únavy a navrácení do původního stavu na rychlou a pomalou.

Jednou z příčin lokální svalové únavy je nedostatečný přísun potřebných iontů, které umožňují kontrakci svalových bílkovin. Ke stabilizaci iontové rovnováhy na membránách a k přísunu potřebných enzymů je potřeba dostatečného přísunu energie z důvodu aktivního transportu iontů, proti koncentračnímu spádu. Molekuly ATP ve svaích jsou lokalizovány na hlavicích myozinu. Celá kontrakce se opakuje, dokud je ve svaích dostatečný přísun  $\text{Ca}^{2+}$  (Allen, Lamb & Westerblad, 2008; Allen & Westerblad, 2001; Westerblad, Bruton, Allen, & Lannergren, 2000).

Metabolická únava je způsobena snížením energetických rezerv a vyčerpání zásob svalového glykogenu a snížení produkce ATP. Hlavním důvodem pro ukončení svalové práce je nedostatek přijatého kyslíku tkáněmi a vznikají odpadní produkty anaerobního metabolismu. Důvodem snížení pH je přítomnost  $\text{H}^+$  a laktátu jako odpadních produktů při anaerobním metabolismu (Donatelli et al., 2000; Hargreaves & Spriet, 2006).

Lokální únava může být způsobena útlumem podnětů z CNS, kdy periferní svalové motorické podjednotky nejsou zásobeny dostatečnou frekvencí vzruchů, aby

vyvolaly změny (Allen, Lamb & Westerblad, 2008; Allen, Lännergren & Westerblad, 2002). Nervosvalový přenos je limitován počtem vzruchů přicházející z centrální nervové soustavy. Tento počet a dráždění periferních svalových motoneuronů zkoumali Allen, Lamb a Westerblad (2008) pomocí EMG a pokud jsou svaly podchlazeny nebo drážděny častěji, začnou se neurotransmitery přizpůsobovat a zvyšuje se množství  $K^+$  a snižuje se množství  $Na^+$ . Allen a Westerblad (2001) zkoumali úbytek ATP pomocí fosforovací látky, kterou dodával do jednotlivých svalových vláken myši. Jednotlivá vlákna dráždili elektrickými impulsy o různých frekvencích a úbytek ATP zkoumal podle vyzařování fosforečných látek. Pomalejší vyčerpání ATP ve svalu nastalo po vložení přestávek mezi dráždění, než když byla vlákna pod stálým napětím, pak bylo ATP zcela vyčerpáno do 10 minut. K celkovému vyčerpání došlo pouze u 5 z 12 myších vláken. Ke vzniku únavy proto nedojde pouze při vyčerpání ATP, ale zdrojem únavy jsou i jiné faktory (Allen & Westerblad, 2001).

Kontrakce aktinu a myozinu je složitý proces, který je prvotně závislý na tvorbě a vedení vzruchů z CNS, šířící se přes nižší nervový systém až na nervosvalovou ploténku, která navazuje na svalovou membránu. Na membráně dojde k šíření akčního potenciálu a vyvolání dalších změn uvnitř svalových buněk. Na této úrovni se jedná o lokální svalovou únavu (Allen, Lamb, & Westerblad, 2008; Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003).

Při pokusech na izolovaných rychlých vláknech byla zjištěna rychlá spotřeba ATP. Při poklesu výkonu o 50 %, kleslo množství ATP o 11 %. K resyntéze ATP dochází v mitochondriích. Její dodávka závisí na přechodu přes sarkoplasmatickou membránu a na propustnosti i jiných enzymatických látek, které urychlují přísun ATP do pracujících svalových vláken (Han, Thieleczek, Varsanyi, & Heilmeyer, 1992; Korge & Campbell, 1995). Jako propustné terminály pro  $Na^+$  a  $K^+$  slouží T-tubuly, které propouští také ATPázu přes T-membránu (Nielsen, MacDonald, Stephenson, & Clausen, 2006).

Jednotlivé postupy zjišťování únavy jsou závislé na typu experimentu. Různé druhy přístupu a jejich výhody a nevýhody jsme shrnuli v tabulce 7.



**Tabulka 7: Výhody a nevýhody různých druhů přístupu. Upraveno podle Allena, Lamba a Westerblada (2008)**

Pohled přístupu	Výhody/nevýhody	Popis výhody/nevýhody
<b>Svaly in Vivo</b>	Výhody	Fyziologické mechanismy zkoumány souhrnně
		Svalová únava není rozlišena na centrální a lokální
		Není rozlišen druh svalové únavy
		Svalová vlákna pracují synchronně a navzájem se zastupují podle druhu činnosti
	Nevýhody	Nejsou rozlišena svalová vlákna a jejich činnost při svalové únavě
		Komplexní aktivace z CNS
		Interpretace dat a zjištění jednotlivých mechanismů svalové únavy
Obtížná interpretace experimentálních intervencí		
<b>Izolovaný sval</b>	Výhody	Eliminace centrální únavy
		Jednoduchá preparace svalu
	Nevýhody	Nerozlišená svalová vlákna
		Nevyhnutelné znalosti množství extracelulárních iontů (O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , K <sup>+</sup> )
		Mechanismus únavy závislý na extracelulární úrovni iontů
Příjem enzymů a látek není dodán přímo z důvodu vyrovnávání gradientů iontové rovnováhy		
<b>Izolované svalové vlákno s membránou</b>	Výhody	Pouze jedno svalové vlákno
		Přesná detekce svalové síly, napětí svalového vlákna a iontových a metabolických změn
		Možnost zjištění přesného množství iontů, metabolitů a jiných látek na základě fluorescenčních látek
		Rychlá a přesná aplikace látek, iontů a metabolitů do místa určení
	Nevýhody	Výroba preparátu obtížná
		Odlišné prostředí a působení než in vivo
		Akumulace K <sup>+</sup> iontů a jiných in vivo odlišné mechanismy a množství
		Náchylný ke zničení při fyziologické teplotě
		Malá velikost způsobuje obtížné hodnocení množství metabolitů
<b>Odizolované svalové vlákno bez membrány</b>	Výhody	Přesná detekce svalového vlákna
		Možnost zkoumání myofibrilárních vlastností, sarkoplasmatického retikula, jeho průstup pro ionty
		Metabolické a iontové změny ovlivňující svalovou únavu zachyceny a studovány jako izolované systémy
	Nevýhody	Významnost zkoumání svalové únavy diskutabilní
		Ztráta důležitého propojení do intracelulárních systémů a prvků
		Související metabolity musí být zkoumány v jiných systémech

### 2.5.3 Druhy únavy podle intenzity cvičení

Wilmore a Costill (1999) dělí únavu v závislosti na intenzitě cvičení. V závislosti na intenzitě a době cvičení převažuje jiný faktor, který prvotně působí na svalovou činnost. Mezi faktory omezující svalový výkon řadíme množství jednoduchých a složitých energetických zdrojů, zásobní zdroje energie (tuk) a pH prostředí. (tab. 8).

**Tabulka 8: Limitující faktory přeměny látek a energií vzhledem k intenzitě cvičení, 1-nejnižší omezující faktor, 5-nejvyšší limitní faktor (Baechle & Earle, 2008)**

Intenzita cvičení	ATP a CP	Svalový glykogen	Jaterní glykogen	Zásoby tuku	Snížení pH
Lehká (maraton)	1	5	4-5	2-3	1
Střední (1500m běh)	1-2	3	2	1-2	2-3
Vysoká (400m běh)	3	3	1	1	4-5
Velmi intenzivní (diskutabilní)	2-3	1	1	1	1
Velmi velmi intenzivní (příklad: 10 opakování na 60 % opakovacího maxima)	4-5	4-5	1-2	1-2	4-5

#### 2.5.3.1 Maximální intenzita cvičení

Na základě výzkumů (Allen, Lamb, & Westerblad, 2008; Place, Yamada, Bruton, & Westerblad, 2010) byla obnova ATP po cvičení o maximální intenzitě omezena nízkou zásobou CP, kdy nedošlo k okamžitému spojení ADP a CP. Fosfátový systém není schopen produkovat nový zdroj potřebné energie. Tento typ svalové únavy nastává hlavně po cvičením supramaximální intenzity. Energetické zdroje vystačí na 20-40 s (MacIntosh, Gardiner, & McComas, 2006; Wilmore, Costill & Kenney, 2008). Únava během cvičení má příčinu ve snížení množství fosfagenů. Množství fosfagenů ve svalu se snižuje s vysokou intenzitou cvičení než v případě aerobního zatížení. CP klesá velmi rychle (pokles o 50-70 %) během 5-30 s cvičení o vysoké intenzitě. Množství svalového ATP klesá pozvolna pod 50 % až 60 % své koncentrace od začátku cvičení. Je dokázáno, že intenzivnější dynamická cvičení mají větší spotřebu ATP a CP než statické izometrické aktivity (Baechle & Earle, 2008). Zásoba ATP a CP vystačí jen na krátkou dobu a jejich doplnění je závislé na množství dalších zdrojů energií, jako jsou glykogen a volné mastné kyseliny. Obnova fosfagenů je výsledkem aerobního procesu, ačkoli glykolýza probíhá i po skončení vysoce intenzivního cvičení (Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003; Baechle & Earle, 2008). Vliv tréninku na koncentraci fosfagenů není dosud přesně pochopen. Aerobním tréninkem dochází ke zvyšování

zásob fosfagenů a při maximální intenzitě cvičení nedochází k rychlému poklesu. Po tréninku maximální síly, který trval pět týdnů, byla ve svalu triceps brachii zaznamenána vyšší koncentrace zásob fosfagenů než u jedinců bez tréninku (Baechle & Earle, 2008). Vliv koncentrace fosfagenů na svalovou únavu a zotavení není jednoznačný.

Velmi vysoká intenzita cvičení, jako je silový trénink, je závislá hlavně na množství svalového glykogenu (snížení o 20 % až 60 %) při malém počtu opakování. Fosfagenové substráty jsou limitujícími faktory posilovacího tréninku při prvních opakováních nebo malém počtu sérií, na rozdíl od glykogenolýzy, která je limitujícím faktorem únavy při velkém množství opakování a cvičení velkého množství svalových skupin. Větší množství zásobního glykogenu se nalézá pouze v některých typech svalových vláken (hlavně ve vláknech Typu II). V jiných svalových vláknech je zásoba svalového glykogenu závislá na intenzitě cvičení (vyšší intenzita vyžaduje rychlejší glykogenolýzu) (Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003).

Při provozování cvičení o submaximální intenzitě cvičení je zásoba svalového glykogenu vyčerpána za několik minut. Zdroj energie je přepravován ze zásobních zdrojů krví do svalových tkání a tam se za přísunu kyslíku přeměňuje na ATP a CP (Wilmore, Costill, & Kenney, 2008). Podle Baechleho a Earla (2008) je limitujícím faktorem pro výkon zásoba glykogenu, kterého je kolem 300-400 g uloženo ve svalech a kolem 70-100 g se nalézá v játrech. Množství glykogenu je závislé na tréninku a složení jídelníčku, avšak 2/3 glykogenu je uloženo ve svalech a dalších orgánech a 1/3 celkového množství je uchována v játrech. Zvýšení zásob glykogenu bylo potvrzeno po anaerobním tréninku, zvláště po sprintersky zaměřeném cvičení a po posilování o maximální intenzitě. Z uložených zdrojů se glykogen přeměňuje na svalový glykogen a na ATP při nízkých intenzitách cvičení. Zvyšující se intenzita cvičení 50 %, 75 % a 100 % maximální spotřeby kyslíku ovlivňuje nárůst výroby svalového glykogenu (glykogenolýza) na 0,7; 1,4 a 3,4 mmol.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>. Během cvičení o intenzitě 60 % maximální aerobní kapacity je z hlavních energetických zdrojů právě glykogen, který je dodáván do buněk i během cvičení (Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003; Baechle & Earle, 2008). Optimální množství dodaných karbohydrátů po cvičení by mělo dosahovat 0,7 až 3,0 g na kg tělesné hmotnosti do 2 hodin po cvičení (Baechle & Earle, 2008). Toto množství karbohydrátů by mělo postačit k přeměně na 5 až 6 mmol.g<sup>-1</sup>

glykogenu na g čerstvé svalové tkáně během 4 až 6 hodin po výkonu. Svalový glykogen je zcela obnoven po 24 hodinách odpočinku. Avšak pokud se jedná o excentrická cvičení maximální intenzity, může obnova glykogenu trvat déle (Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003; Baechle & Earle, 2008).

Při statických cvičeních pak je hlavním zdrojem únavy nedostatečné prokrvení svalové tkáně. Na druhou stranu dynamická cvičení se vyznačují rychlým zkrácením svalu a dostatečnou relaxací svalových vláken. Ve svalu se tak střídají pravidelně fáze kontrakce a relaxace. Na základě vysoké frekvence podnětů z CNS dojde k rychlému vyčerpání energetických zdrojů a k únavě. Pokud je sval stimulován nepřetržitě jako například při maximální volní kontrakci, pak opakovaný výkon vykazuje rychlý pokles. Jedná se o tzv. vysokofrekvenční únavu. Tento jev je charakterizován velmi rychlým reverzibilním procesem. Doba zotavení svalu byla identifikována mezi 1-2 s (Bigland-Ritchie, Zijdewind, & Thomas, 2000). Tento typ únavy se u člověka vyskytuje při zvedání velmi těžkých závaží, při vyvinutí rychlé maximální síly. Dochází po ní k rychlému návratu do výchozího stavu. S dobou působení vzruchů o vysoké frekvenci klesá přímo úměrně velikost maximální volní kontrakce (Bigland-Ritchie, Johansson, Lippold, Smith, & Woods, 1983; Marieb, 2006).

Jednou z klíčových proměnných je čas, během kterého se sval smrští. Jeden pracovní cyklus svalového vlákna trvá 0,1-0,5 s. Opakované krátké stahy svalového vlákna jsou v praxi zastoupeny v mnoha každodenních činnostech (chůze, běh, dýchání). K celkovému zotavení dojde po 5-10 minutách někdy i pomaleji (Helander, Westerblad, & Katz, 2002; Chin & Allen, 1997).

### **2.5.3.2 Submaximální intenzita cvičení**

Tato příčina únavy a ukončení cvičení se vyskytuje při submaximální intenzitě cvičení trvajících obvykle několik minut. Jedná se o anaerobní glykolýzu, kdy tělo není schopno přenášet dostatek kyslíku do svalové tkáně. Jako zdroj lokální únavy jsou odpadní produkty metabolismu (Fleck & Kraemer, 1987).

Mezi vedlejší produkty anaerobního metabolismu řadíme kyselinu mléčnou a po jejím rozkladu  $H^+$ , laktát, které se hromadí ve svalu a snižuje se pH prostředí. Hladina kyseliny mléčné je až desetinásobná oproti klidu. Vzniká nesouhra mezi funkcí mozkové kůry a svalových vláken (Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003). Podle

Donatelliho et al. (2000) je klidové svalové pH 7,1. Při zvýšené intenzitě cvičení klesá na hodnoty 6,4. Snížení pH má vliv na kontrakci svalových vláken odbouráváním působení ATPázy při rozkladu ATP a vytlačuje ionty  $Ca^{2+}$ . Tím je svalová kontrakce zpomalena nebo až zastavena (Allen, Lamb, & Westerblad, 2008; Cairns, 2006). Snížení pH se vyskytuje u cvičení submaximální intenzity v době trvání 60-90 s, tj. střednědobé činnosti (Wilmore, Costill, & Kenney, 2008). Při činnostech submaximální intenzity (běhy na 400-1500 m) je spotřeba kyslíku na úrovni nad 125 %  $VO_{2max}$  a vyšší. Při extrémní zátěži jako je například Wingate test roste spotřeba kyslíku až na 300-400 %  $VO_{2max}$ . Nedostatek kyslíku a iontové změny vnitřního prostředí porušují činnost svalových vláken a především činnost CNS. Vznikají poruchy nesouhry excitace a inhibice, projevující se navenek jako poruchy koordinace (Hargreaves & Spriet, 2006).

### **2.5.3.3 Nízká intenzita cvičení**

Cvičení o nízké intenzitě se vyznačuje převážně aerobním metabolickým krytím přeměny látek a energií. Proto je únava označována také jako aerobní nebo pomalá. Aerobní únava vzniká při dlouhotrvajících cvičeních nízké intenzity a její příčinou je hlavně snížení energetických zdrojů. Zdrojem únavy je u netrénovaných jedinců nedostatečně rychlý přísun kyslíku k pracujícím tkáním. Jedná se o velkou potřebu dodávky kyslíku do pracujících svalových vláken. Je však kryta zvýšením srdečního minutového objemu a plicní ventilací. I přes zvýšený obsah kyseliny mléčné na začátku cvičení, se její koncentrace snížila. Proto vystupuje i anaerobní glykolýza jako zdroj energie. U trénovaných jedinců nástup a převaha anaerobní metabolismu nastupuje až po delší době činnosti, nebo při vyšší intenzitě cvičení, kdy je třeba větší množství energie. Mezi limitující faktory výkonu je zahrnut také minutový objem srdeční a lokální prokrvení svalů (Seliger, 1974).

Aerobní únavu můžeme charakterizovat jako stav po déletrvajícím stimulaci svalového aparátu o frekvenci impulsů 10-20 Hz. Nižší frekvence impulsů, které působí po dlouhou dobu, vyvolává pomalou únavu. K navrácení do původního stavu může dojít někdy až za 24 hodin (Hargreaves & Spriet, 2006). Při dlouhotrvajícím výkonu se zhoršuje práce řídicích center a je tím porušeno i řízení oběhové funkce, klesá zásoba sacharidů. Objevuje se pocit hladu, snížení vjemů až halucinace až ztráta vědomí. Velké

pocení při dlouhodobé činnosti vede ke ztrátám tekutin, chloridů a sodných iontů (Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003). Změny poměru iontů (fosfor, vápník, sodík, draslík) vede až ke vzniku svalových křečí. Svalová slabost se projevuje dlouhodobě snížením citlivosti smyslů (klesá citlivost vestibulárního a kinestetického aparátu). Tento jev nastává po období intenzivního cvičení. Při tomto druhu únavy a při pokračování v činnosti musí CNS vydávat více vzruchů nebo aktivovat více motorických jednotek pro konkrétní sval (MacIntosh, Gardiner, & McComas, 2006).

## **2.5.4 Projevy únavy**

Únava se obecně projevuje zvýšením funkcí kardiopulmonální soustavy (zvýšenou plicní ventilací a spotřebou kyslíku, poklesem krevního tlaku), zvyšuje se koncentrace kyseliny mléčné v krvi. Je zvýšená hustota krve, protože se zvyšuje počet červených a bílých krvinek, částečně je tekutina z krve je transportována do tkání. Klesá zásoba glykogenu a při větším poklesu může dojít k hypoglykémii. Projevy únavy jsou doprovázeny pocením. Projevy únavy můžeme dělit na objektivní a subjektivní (Fleck & Kraemer, 1987; McArdle, Katch, & Katch, 2001; Seliger, 1974).

### **2.5.4.1 Objektivní projevy únavy**

Objektivní projevy únavy můžeme pozorovat u všech funkcí organismu na základě jejich změn po výkonu. Sledujeme změny při opakovaném měření svalového výkonu. Snížení výkonu může být dáno útlumem CNS. Zvýšená koncentrace metabolitů dráždí nervová zakončení svalových vláken, která vedou vzruchy do CNS. Následkem těchto vzruchů je útlum motorických center a pokles frekvence motorických vzruchů (Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003; McArdle, Katch, & Katch, 2001; Seliger, 1974; Westerblad, Bruton, Allen, & Lannergren, 2000).

### **2.5.4.2 Subjektivní projevy únavy**

Subjektivní projevy únavy mohou být často nespecifické a často jsou nepatrné, neurčité a právě proto je často přehlízíme. Často hraje roli i psychika jedince spojená s motivací podávat opakované nadprahové výkony. Nepříjemné subjektivní pocity, projevy únavy jsou spojeny s bolestí svalů, stísněností, podráždění až neschopnosti

činnosti. Objevují se při zatížení dříve než objektivní projevy únavy. Jsou signálem k nástupu únavy a poklesu výkonu. Slouží jako obrana organismu před jeho poškozením. Objektivní a subjektivní projevy únavy jsou synchronní a slouží jako impuls k nástupu zotavení. Únava je přechodný děj, který po aplikaci zotavení vymizí (Hošek, 2003; Seliger, 1974; Slepíčka, Hošek, & Hátlová, 2009).

## 2.6 SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ NÁMAHY

K hodnocení vnímané námahy je používána Borgova škála (RPE-Ratings of perceived exertion). Borgova škála (Borg, 1998) pomáhá na základě subjektivních pocitů určit aktuální zatížení jedince. Hojně využívaná škála je v rozmezí 6-20 stupňů, kde stupeň 6 je definován jako stupeň zátěže *bez námahy* a naopak stupeň 20 je vnímán jako *maximální námaha*. Jedinec subjektivně hodnotí aktuální fyzickou tak psychickou námahu. RPE škála byla sestrojena pro subjektivní hodnocení vnímané námahy, která roste lineárně se zatížením, současně se zvyšuje srdeční frekvence a spotřeba kyslíku u aerobních činností. Borgova škála RPE při cvičeních aerobního charakteru významně koreluje se srdeční frekvencí, spotřebou kyslíku a nárůstem laktátu. Lineární vztahy RPE s rychlostí dýchání a svalovou únavou považujeme za indikátor také centrální únavy. Lokální únava je dána lineární závislostí mezi RPE a koncentrací laktátu (Borg & Kaijser, 2006; Borg, 1998). Borg (1998) uvádí několik charakteristických faktorů, které zahrnuje uváděná škála. Je celkově vnímáno několik důležitých signálů ze všech soustav zajišťující životní funkce. Jedná se současně o *lokální* signály, od kožních vjemů, svalů, kloubů až po signály *centrální* z kardiovaskulární soustavy a dýchacích orgánů (Borg & Kaijser, 2006). Dyrlund a Wininger (2008) vyzvedli Borgovu škálu jako hodnotitele kvality psychických faktorů při hodnocení vynaložené námahy. U některých nemocných jedinců (kardiaků, nemocných s poruchami metabolismu, nevidomých jedinců) je určení intenzity cvičení založeno na subjektivním vnímání námahy. Použití RPE je bezpečnější pro určení maximální zátěže než pomocí SF a jiných parametrů ( $VO_{2max}$ ) (Daďová, Radvanský, Matouš, & Šulc, 2006; Mocková & Radvanský, 2003). Vnitřní pocitované bolesti a napětí jsou velmi významnými indikátory skutečného stupně námahy jedince. Ve výzkumech zaměřených na maximální výkon je potřebná velká motivace jedince a odhodlání podat opakovaný maximální výkon. Reliabilita odhadu maximálního opakovacího maxima na základě Borgovy škály (6-20) pro extenzi KK pro muže a ženy byla 0,83 a 0,92 (Eston & Evans, 2009).



## 2.7 ZOTAVENÍ

Zotavení je podle Hargreaves a Sprieta (2006) biologický proces odstraňování únavy na základě obnovy homeostázy organismu o období zotavení. Podle Astranda et al. (2003) se jedná o komplex fyziologických a psychologických procesů, které se snaží navrátit organismus do stavu před zatížením. Jedná se o zklidnění SF, frekvence dýchání a ventilačních parametrů, obnovení energetických rezerv a iontové rovnováhy, odstranění zplodin látkové výměny, poklesu svalového napětí a snížení aktivační úrovně CNS. Zotavné procesy jsou závislé na charakteru, intenzitě a době trvání pohybové činnosti. Doba zotavení by měla být tím delší, čím je organismus vystaven intenzivnější a delší námaze a čím je únava hlubší. Jednotlivé funkce při regeneračního procesu jsou obnovovány postupně. Časově se liší rychlost obnovy energetických zdrojů, odplavení metabolitů a pokles SF na své původní hodnoty. Znalost procesu zotavení má podstatný význam pro objektivizaci řízení tréninkových procesů, hlavně při dávkování zátěží a plánování tréninkových cyklů. Mezi pozitivní vliv zotavení řadíme superkompenzaci funkcí jako adaptační proces tréninkového zatížení a s tím spojenou únavu.

Podle autorů (Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003; Hargreaves & Spriet, 2006) můžeme fáze zotavení dělit podle rychlosti návratu fyziologických funkcí do původního stavu. Zotavný proces se skládá z rychlé a pomalé fáze.

- 1) Rychlá fáze se projevuje jako rychlé obnovení základního funkčního stavu organismu a trvá jen několik minut. V této fázi byly hodnoty funkčních parametrů na 80 % výchozí úrovně. Jedná se o fázi, kterou můžeme pozorovat okamžitě po skončení cvičení. Jedná se o rychlý pokles SF, obnovení některých energetických zdrojů a příprava svalů na svalový výkon. Jedná se o zotavný proces po anaerobním laktátovém zatížení, neboli o rychle vzniklou únavu. Dochází k rychlé resyntéze fosfagenu, po třech až pěti minutách dochází k jeho 100% obnově ve svalech.
- 2) Pomalá zotavná fáze je charakterizována návratem funkcí do původního stavu po několika minutách po cvičení, hodinách až dny. Jedná se o zotavení po pomalu vznikající únavě z aerobní činnosti. Důležitá je obnova svalového glykogenu, což může trvat až dva dny.

Průběh zotavení je dán řadou dílčích faktorů, jako je například životní režim, životospráva, stravování, psychická pohoda, které mají vliv na zotavné procesy.

Zefektivnění zotavných procesů je doprovázeno dalšími metodami a procesy, které se podílí na odbourání únavy. Zotavné procesy dělíme na pasivní a aktivní zotavení. Mezi pasivní zotavení řadíme spánek, různé druhy hydroterapie, elektrostimulace, saunování, masáže ad. Aktivní zotavení je souhrn prostředků, které jsou zaměřeny na urychlení odstranění únavy na základě odstranění zplodin metabolismu při aktivní činnosti. Stereotypní využívání jednoho druhu zotavení může vést k neefektivnosti účinků procesu.

### **2.7.1 Aktivní zotavení**

Aktivní zotavení je takový druh odpočinku, při kterém zotavné procesy probíhají během cvičení nízké až střední intenzity. Při aktivním zotavení dochází k rychlejšímu odbourávání krevního laktátu než v případě pasivní formy zotavení. Aktivním odpočinkem se zvyšuje SF a dojde ke zrychlení průtoku krve. Tím je rychleji odstraněna svalová únava. Laktát se hromadí v rychlých svalových vláknech a aktivním odpočinkem se částečně přesouvá do pomalých svalových vláken a jater (Brooks, 2000). Mezi aktivní druh zotavení můžeme řadit chůzy, běh nebo jízdu na kole. Pro stimulaci zotavných procesů je však potřeba udržovat mírnou intenzitu zmíněných cvičení (50-65 % maxima SF nebo 35 %  $VO_{2max}$ ) po dobu až 20 min (Cochrane, 2004; McArdle, Katch, & Katch, 2001). Autoři (Heyman, De Geus, & Mertens, 2009; Watts, Daggett, Gallagher, & Wilkins, 2000) zaznamenali o 50 % rychlejší regenerační procesy v případě aktivního zotavení ve srovnání s pasivním u skupiny lezců a lezkyň. Po aktivním zotavení pokles výkonu (počet lezeckých kroků, síla stisku ruky) byl menší než po pasivním zotavení. Po aktivním zotavení byl zaznamenán pokles koncentrace laktátu na výchozí hodnoty po 20 min a po pasivním zotavení až po 30 min (Watts, Daggett, Gallagher, & Wilkins, 2000). Podobný efekt aktivního zotavení byl zjištěn u skupiny lezkyň, u kterých byl zaznamenán také rychlejší pokles krevního laktátu vlivem aktivního zotavení. Aktivní zotavení na bicyklovém ergometru o nízké intenzitě (30-40 W) mělo pozitivní vliv na lezecký výkon, kdy u lezkyň nebyl zaznamenán pokles počtu lezeckých kroků, současně se nezměnila ani doba lezení (Heyman, De

Geus, & Mertens, 2009). Na rozdíl od předchozích studií aplikovali Baláš, Chovan a Martin (2010) chůzi o intenzitě 65 %  $SF_{max}$ . Zjistili taktéž významný vliv zotavení na počet lezeckých pohybů a čas strávený na lezecké stěně. K menšímu poklesu lezeckého výkonu (počet kroků, doba strávená na stěně) došlo po aplikaci chůze než po pasivním zotavení (14 % vs. 41 %). Bielik (2010) zjišťoval pomocí Wingate testu vliv aktivního zotavení na opakovaný anaerobní výkon u skupiny trénovaných cyklistů. Významný rozdíl byl zjištěn mezi maximálním výkonem po aktivním a po pasivním zotavení ( $970,2 \pm 68,9$  vs.  $875,5 \pm 56,2$  W), kde aktivní zotavení probíhalo na bicyklovém ergometru (intenzita 40 %  $VO_{2max}$ ). Podobné změny sledujeme i u průměrného výkonu, kde rozdíl po aktivním a pasivním zotavení byl také významný ( $746,1 \pm 47,0$  vs.  $678,4 \pm 45,2$  W). Koncentrace laktátu byla významně nižší po aktivním zotavení než po pasivní formě ( $7,4 \pm 3,9$  vs.  $13,3 \pm 2,9$  mmol.l<sup>-1</sup>) (Bielik, 2010).

Dodd et al. (1984) nezjistili rozdíl v poklesu maximálního výkonu při aplikaci aktivního zotavení na bicyklovém ergometru o střídajících se intenzitách zatížení (65 %  $VO_{2max}$  a 35 %  $VO_{2max}$ ) konaného po dobu 40 min v porovnání s pasivním odpočinkem. Pokles laktátu v závislosti na druhu zotavení nebyl významný (Dodd, Powers, Callender, & Brooks, 1984). Místo laktátu se k hodnocení efektivity zotavného procesu využívá také koncentrace energetických zdrojů ve svalích. Choi et al. (1994) zjistil, že dostatečné obnovení svalového glykogenu trvá kratší dobu, když po pohybové aktivitě o intenzitě 130 %  $VO_{2max}$  na bicyklovém ergometru u netrénovaných aplikujeme aktivní zotavení. Podobné účinky aktivního zotavení o nízké intenzitě na obnovu svalového glykogenu potvrdili Signorile et al. (1993). Nízká intenzita šlapání na bicyklovém ergometru spustila rychleji mechanismus oxidativních reakcí.

Schurman (2009) uvádí, že by intenzita cvičení při aktivní formě zotavení neměla překročit 60-65 % maxima SF. Na intenzitě cvičení se shoduje s Coffeyem, Leverittem a Gillem (2004), který doporučuje aplikovat aktivitu ihned po zátěži a doba trvání činnosti by se měla pohybovat od 7,5 do 20 min.

Při takové intenzitě cvičení nedochází k rozvoji aerobní zdatnosti, ale stačí právě na zvětšení přísunu kyslíku do tkání a urychluje tím přísun energetických zdrojů a odplavování metabolitů ze svalu (Barnett, 2006; Draper, Bird, Coleman, & Hodgson, 2006).

## 2.7.2 Pasivní zotavení

Pasivní zotavení je forma odpočinku, při kterém dojde k obnově počátečního stavu organismu bez vykonávání jiných doprovodných činností. Nejčastěji se pasivní zotavení uskutečňuje vsedě nebo vleže, kdy nedochází k žádným zásadním změnám stavu organismu a vnějších podmínek. Mezi pasivní formu zotavení řadíme také spánek. Pasivním odpočinkem trvají regenerační změny velmi pomalu a návrat do počátečnicku stavu trvá i několik dní (Cochrane, 2004). V práci Pincivera, Lepharda, Kuranakara (1997) zaznamenali, že délka doby trvání pasivního zotavení má významný vliv na udržení izokinetického výkonu extenzorů a flexorů KK. Delší doba pasivního zotavení (160 s) mezi 3 sériemi měla významný vliv na maximální moment síly při  $60^{\circ} \cdot s^{-1}$  (5 opakování) než pasivní zotavení trvajícím 40 s ( $5,2 \pm 2,3$  vs.  $-0,96 \pm 2,3$  %,  $p=0,007$ ). Stejný vliv měla delší doba zotavení na celkovou práci v KK o úhlové rychlosti  $180^{\circ} \cdot s^{-1}$  při 30 opakováních ( $8,4 \pm 2,3$  vs.  $2,3 \pm 1,83$  %,  $p=0,02$ ). Doba pasivního zotavení má tudíž významný vliv na opakovaný izokinetický výkon v KK. Závisí však na intenzitě pohybové aktivity. Po anaerobní činnosti řadíme pasivní zotavení mezi neefektivní metodu odpočinku. Dojde k poklesu fyziologických funkcí, proces přísunu energetických zdrojů se zpomalí současně s odplavením odpadních látek. Vlivem nahromadění odpadních látek jsou postižené tkáně bolestivé a při cvičení pociťujeme nepříjemné pocity (Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003). Mezi pasivní zotavení řadíme také různé druhy masáží, saunování, kryoterapie a zotavení probíhající ve vodním prostředí (Cochrane, 2004).

## 2.7.3 Hydroterapie

Mezi populární prostředek zotavení patří hojně užívané vodní prostředí. Jedná se o ponořování celých nebo částí končetin nebo celého těla do vodního prostředí o různé teplotě. Tohoto typu zotavení se využívá ihned po tréninku nebo po závodě. Teplá nebo studená voda ovlivňuje charakteristické procesy ve vnitřním prostředí prokrvených tkání (vazokonstrikce, vazodilatace cév) a dochází tak k urychlení zotavných procesů. Díky aplikaci hydroterapie se snižuje svalový otok a zvyšuje se srdeční činnost. Zvyšuje se také průtok krve, který urychluje odplavování odpadních látek ze svalů (Bleakley & Davison, 2010; Ingram, Dawson, Goodman, Wallman, & Beilby, 2009).

Psychologické účinky hydroterapie byly zjištěny po aplikaci vody o různé teplotě. Sportovci po tréninku uváděli zmenšení svalového napětí a psychickou vyrovnanost (Cochrane, 2004). Podle Gieremeka (1990) má teplá voda pozitivní vliv na regeneraci založenou na rychlosti přenosu elektrických impulsů z CNS na nervová vlákna a synapse, kde dojde k urychlení zotavení.

Mezi další faktory regeneračních procesů uskutečňovaných ve vodním prostředí řadíme hydrostatický tlak a teplotu vody. Při ponoření pouze končetiny nebo části končetiny má největší význam na regeneraci jen teplota vody. O vlivu hydrostatického tlaku mluvíme v případě celého ponoření nebo větší části těla. Na základě mechanického tlaku můžeme mezi zotavné procedury zahrnout kompresní zábaly sloužící k vytlačování a odstraňování metabolitů ze svalové tkáně (Wilcock, Cronin & Hing, 2006b).

Hydroterapie se dělí v závislosti na teplotě vody a to na kryoterapii, termoterapii, kontrastní metodu a termoneutrální terapii (Cochrane, 2004; Thornley, Maxwell, & Cheung, 2003).

### **2.7.3.1 Kryoterapie a studená voda**

Jednou z možností jak urychlit zotavné procesy je kryoterapie (lokální ledování, ponory do ledové vody, kryokomory) působící prostřednictvím vnějšího prostředí na mírné změny povrchové a tělesné teploty. Při celkové chladové terapii dochází k vazokonstrikci cév, zvyšuje se krevní tlak, dochází k rychlejšímu odplavování zplodin metabolismu a k obnově energetických zdrojů. Udávané změny závisí na teplotě kůže před aplikací ledových zábalů. Při teplotě kůže vyšší než 30°C nemusí dojít k vazokonstrikci (Capko, 1998).

Při lokálním chlazení se často používá v praxi ledování. Přesné fyziologické účinky ledování nejsou známy. Ledování prostřednictvím proprioreceptorů snižuje bolestivost zatěžovaných svalů (Mattacola & Perrin, 1993; Verducci, 2000). Krátké trvání lokální aplikace ledových zábalů snižuje povrchovou teplotu a oddaluje tak lokální únavu (Vaile, Halson, Gill, & Dawson, 2008). Účinky ledování jsou závislé na době a rozsahu působení. Při působení od 30 s do 1 min působí chlad na receptory v kůži. Déletrvajících aplikací ledových zábalů snižuje i vnitřní teplotu svalu. Aby nedošlo ke zpomalení až zastavení cirkulace krve, prokládají se jednotlivé ponory (ledování) přestávkami (Verducci, 2000). Střídání opakovaného působení chladu a tělesné aktivity

snižuje svalový spasmus, zmírňuje bolest svalů a navrácí tonus okolních svalů do původního stavu (Capko, 1998).

Vliv ledování na následný sportovní výkon není jednoznačný. Po ledování vykazovali účastníci vyšší hodnoty výbušné síly při opakovaném zvedání činky a vyšší úspěšnost a rychlost baseballových odpalů (Verducci, 2000, 2001). Na druhou stranu Thornley, Maxwell a Cheung (2003) nezjistili významný vliv ledování na maximální moment síly při izometrické volní kontrakci extenzorů kolena. V tomto případě byly použity gelové sáčky o teplotě -11,9°C a doba působení zábalu byla 30s.

Použití studené vody bylo shrnuto v práci Bleakleyho (2010), který uceleně popsal funkční změny v závislosti na teplotě studené vody, trvání a hloubce ponoru těla. V jednotlivých případech se liší i vyvolané fyziologické změny. Příklady aplikace studené vody uvádíme v tabulce 9.

**Tabulka 9: Souhrn protokolů aplikace studené vody (Bleakley & Davison, 2010)**

<b>Autor</b>	<b>Teplota (°C)</b>	<b>Trvání (min)</b>	<b>Hloubka ponoru</b>
(Goode, Duffin, & Miller, 1975)	11	Maximum 5	Po krk
(Malkinson, Martin & Simper, 1981)	13	4	Po ramena
(Tipton, Stubbs, & Elliott, 1990)	10	3	Po krk
(Siems, VanKuijk, & Maass, 1994)	2-3	5	Po krk (plavání)
(Hermanussen, Jensen, & Hirsh, 1995)	2-6,8	Minimum 1,5	Po krk
(Tipton, Golden, & Higenbottam, 1998)	10	3	Po krk
(Siems, Brenke, & Sommerburg, 1999)	1-4	Minimum 5	Po krk (plavání)
(Tipton, Mekjavic, & Eglin, 2000)	10	3	Po krk
(Huttunen, Rintamaki, & Hirvonen, 2001)	4-10	0,5	Po krk
(Dogué, Smolander, & Westerlundt, 2005)	Ledová voda	20 s	Po krk (plavání)
(Eglin & Tipton, 2005)	10	3	Po krk
(Mantoni, Belhage, & Pedersen, 2007)	0	0,5	Po hrudní kost

Studená voda způsobuje více fyziologických změn v lidském těle než v případě teplé vody nebo kontrastní metody hydroterapie. O rozsáhlé změny v organismu se jedná hlavně v případě, kdy teplota vody dosahuje 15°C a méně (Capko, 1998). Během ponoru těla do ledové vody na 20 až 30 s se SF zvýšila z klidové hodnoty 74±16 tepů.min<sup>-1</sup> před ponorem na 107±18 tepů.min<sup>-1</sup> (Mantoni, Belhage, & Pedersen, 2007). K poklesu SF dochází, pokud doba ponoru do studené vody (kolem 10°C) trvá několik minut. První, druhou a třetí minutu ponoru poklesla na 95, 92 a 84 tepů.min<sup>-1</sup> (Bleakley & Davison, 2010). Podle několika autorů (Enwemeka et al., 2002; Myrer, Meason, Durrant & Fellingham, 1997) působení studené vody vyvolává snížení povrchové teploty kůže, podkoží a svalových vláken. Snížení teploty má vliv na snížení stimulace synaptických vláken, což způsobuje vasokonstrikci cév. Pozitivní vliv vasokonstrikce se používá pro snížení otoků tkání, zpomaluje zánětlivé změny a snižuje bolestivost poškozené tkáně (Enwemeka et al., 2002). Stav ochlazení tkáně může trvat až čtyři hodiny po ledování nebo po ponoru v ledové vodě.

Změny SF nejsou jednoznačně ovlivněny pouze aplikací ledování a ponoru do studené vody. Při aplikaci studené sprechy a opakovaného ponoru do studené vody (6x3 min ve vodě o 15°C) nebyly shledány významné rozdíly u SF (Malkinson, Martin, & Simper, 1981). Teplota kůže se při aplikaci studené vody (10°C) snížila o 0,30°C/s až o 0,42°C/s (Tipton, Stubbs, & Elliott, 1990). Při aplikaci teploty o 15°C se snížila o 0,33°C/s. Při ponoření do vody na 30 s se snížila povrchová teplota o 2,7°C, ale na vnitřní teplotu těla měla studená voda jen minimální účinek. Tělesné jádro snížilo teplotu pouze o 0,1°C (Myrer, Meason, Durrant, & Fellingham, 1997).

Současně s aplikací studené vody po dobu 30s se významně zvýšil systolický arteriální krevní tlak z 128,7 mm Hg (před hydroterapií) na hodnotu 143,1 mm Hg. Po opakování této hydroterapie po 2 min byl naměřen systolický tlak 147,3 mm Hg. Po 30 min se systolický a diastolický tlak navrátil na původní hodnoty (Bleakley & Davison, 2010).

Tyto reakce jsou pozorovány spíše v případech, pokud se jedná o celkové ponoření těla do studené vody. Při ponoření jen části těla nebo končetiny dochází pouze k lokálním změnám. Tento proces zpomaluje následky únavy a oddaluje snížení výkonnosti jedince (Vaile, Halson, Gill, & Dawson, 2008).

Stále jsou však nejasné vyvolané fyziologické a biochemické procesy z důvodu heterogenity experimentálních designů, které představují uváděné souhrnné studie (Bleakley & Davison, 2010; Cochrane, 2004; Myrer, Draper, & Durrant, 1994 ; Tipton, Golden, & Higenbottam, 1998).

### **2.7.3.2 Teplá voda**

Na rozdíl od studené vody, teplá voda snižuje krevní tlak, zvyšuje srdeční frekvenci, rozšiřuje cévy a snižuje periferní cévní odpor. Snížením periferního cévního odporu a krevního tlaku dochází ke zvýšení průtoku krve kůží a podkožím. Zvyšuje se tak cévní propustnost a dochází k urychlení přísunu živin, kyslíku a také odsun nežádoucích metabolitů ze svalových tkání. Nedojde však k úplné regeneraci hlubokých svalových tkání, jedná se jen o odstranění únavy z okolních oblastí postižené tkáně (Barnett, 2006). Svaly zůstávají oslabené po delší dobu. Nedochozí k tak rychlému regeneračnímu procesu jako v případě aplikace studené vody (Vaile, Halson, Gill, & Dawson, 2008; Wilcock, Cronin, & Hing, 2006a).

### **2.7.3.3 Kontrastní hydroterapie**

Při kontrastní hydroterapii se celé tělo nebo jeho části střídavě ponořují do teplé a studené vody. Jedná se o stimulaci lokálního krevního oběhu, rychlé odstranění metabolitů, snižování negativních změn a snížení citlivosti na bolest vlivem studené vody. Teplá voda má opačný vliv na změny fyziologických funkcí než studená voda. Zotavné procesy jsou vyvolány neustálými změnami fyziologických funkcí (SF, prokrvení tkání, vazokonstrikce a vazodilatace). Kontrastní metoda hydroterapie se podílí na odstranění nejen fyzické námahy, ale i psychické (Hamlin, 2007). Teplá a studená voda se střídá ihned po sobě a to po 30 až 300 sekundových intervalech. Nejčastěji se opakují několikrát za sebou. Tato aplikace by měla nastat okamžitě po



skončení cvičení, aby došlo k okamžitému nástupu regeneračních procesů (Wilcock, Cronin, & Hing, 2006b).

Doba trvání ponoru do teplé nebo studené vody trvá kolem 6-20 min (Wilcock, Cronin & Hing, 2006a). Střídání teplé a studené vody je aplikováno v poměru 3:1 nebo 4:1, kde teplá voda dosahuje od 37°C až do 43°C a teplota studené vody v rozmezí 12-15°C (Bell & Horton, 1987; Myrer, Draper, & Durrant, 1994 ). Doba trvání kontrastní terapie je běžně kolem 20-30 min, doporučuje se ji opakovat dvakrát denně (Higgins & Kaminski, 1998). Ve většině prací se ukazuje, že při kontrastní terapii je aplikována studená voda jako poslední.

Kladný efekt kontrastní terapie na rychlost zotavných procesů můžeme vysvětlit v závislosti na změně nitrosvalové teploty (Cochrane, 2004). Podle Myrera, Drapera a Durranta (1994), kteří sledovali teplotu v 1 cm pod pokožkou, nemá lokální aplikace teplé a studené vody vliv na změnu na teploty v 1 cm pod pokožkou. K významným změnám docházelo jen ve vyšších kožních vrstvách a podkoží. Lokální změny teplot nemají zásadní vliv na fyziologické změny, které by měly mít kladný přínos na rychlost zotavení a obnově energetických zásob (Sramek, Simeckova, & Janský, 2000; Vaile, Halson, Gill, & Dawson, 2008).

Několik autorů (Higgins & Kaminski, 1998; Myrer, Meason, Durrant, & Fellingham, 1997) se shoduje na tom, že studená voda aplikovaná kolem 1 min nepostačuje ke změnám teploty tkání a nezajišťuje dostatečnou změnu po teplé vodě. Při aplikaci kontrastní hydroterapie není zcela popsán a zaznamenán účinný mechanismus (teplota teplé a studené vody, doba trvání, počet opakování), který by potvrdil jistý účinek na rychlost zotavení (Cochrane, 2004).

Několik autorů (Burke, MacNeil, Holt, MacKinnon, & Rasmussen, 2003; Viitasalo, Niemela, & Kaappola, 1995) se zaměřilo na aplikaci kontrastní hydroterapie (teplé a studené vody) po maximální volní izometrické kontrakci. Volní izometrická kontrakce byla aplikována jako 8s izometrický stah u extenzorů kyčelního kloubu, kdy intenzita dosahovala 60 %, 70 %, 80% a 100 % maximální izometrické volní kontrakce. Po zátěži (10 min) byla aplikována teplá voda (43°C), studená voda (8°C) a pasivní zotavení. Nejmenší pokles výkonu byl zaznamenán po aplikaci studené vody, dále po teplé a největší pokles výkonu byl zaznamenán po pasivním zotavení (Viitasalo, Niemela, & Kaappola, 1995).

Burke et al. (2003) zjišťovali efekt aplikace studené vody a pasivního zotavení ihned po tréninku a mezi tréninkovými dny. Po aplikaci studené vody byla pozorována rychlejší kontrakce svalových vláken, větší dráždivost nervové soustavy.

Vaile, Gill a Blazevich (2007) sledovali pokles maximálního svalového výkonu dolních končetin při cvičení na leg-pressu v závislosti na pasivním zotavení a aplikaci kontrastní hydroterapie. Podobný pokles výkonu ihned po měření byl zaznamenán po pasivním zotavení i po aplikaci kontrastní terapie. Po aplikaci kontrastní hydroterapie (střídání studené vody o teplotě 8-10°C po dobu 1 min a teplé vody o teplotě 40-42°C po dobu 2 min) nezjistili významné změny svalového výkonu dolních končetin (Vaile, Gill, Blazevich, 2007).

Autoři Cote et al. (1988) se zabývali rychlostí zotavení po aplikaci studené vody (8-10°C), která byla opakována 5x 60 sekund. Jako výsledný efekt byl zaznamenán menší otok svalové tkáně po zátěži, minimální pokles výkonu a svalových mikrotraumat. S aplikací hydroterapie nebyl srovnáván aktivní typ odpočinku a jeho vliv na regeneraci (Wilcock, Cronin & Hing, 2006a).

Ve studii Ingrama et al. (2009) byly nalezeny změny výkonu před zátěží (opakovaný sprint, maximální izometrická volní kontrakce v kolenním kloubu při flexi a extenzi) a po 24h od vstupního měření. Ihned po zátěži byla aplikována kontrastní hydroterapie a kryoterapie. Kontrastní terapie se skládala z 2min aplikace studené vody (10°C) a teplé vody (40°C). Studená voda byla aplikována 2x5 min. Mezi ponorem byla 2,5 min pauza o teplotě vzduchu (22°C). Nejmenší pokles výkonu nastal po aplikaci studené vody (o 0,2 až 9,6 %), větší pokles výkonu byl zaznamenán u kontrolní skupiny s pasivním odpočinkem (5,2 až 11,3 %) a největší pokles byl zaznamenán po kontrastní terapii (9,5 až 11,8 %) pro případ měření maximální volní izometrické kontrakce. Menší pokles výkonu po aplikaci studené vody byl pravděpodobně způsoben snížením bolestivosti končetin, otoku tkáně způsobené vazokonstrikcí cév (Ingram, Dawson, Goodman, Wallman, & Beilby, 2009).

Jednoduché užití hydroterapie se liší od aktivního zotavení také tím, že není potřeba dodávat další množství energie k regeneraci jako v případě aktivního zotavení (Wilcock, Cronin & Hing, 2006a).

Navzdory popularitě aplikace hydroterapie jako prostředku k urychlení zotavení není zcela jasný tento princip, ne všichni autoři našli významný vliv vodních procedur na udržení opakovaného výkonu. Hlavním problémem při aplikaci vody je nejasnost a

neshoda při výběru teploty vody, trvání ponoru vybrané části končetiny nebo celého těla, opakování a střídání teplé a studené vody. Neznáme veškeré fyziologické mechanismy, které vedou k urychlení zotavných procesů.

## **2.8 SHRNUÍ TEORETICKÉ ČÁSTI**

Vliv zmíněných druhů zotavení na svalový výkon není jednoznačný, nebyl vždy prokázán jejich prospěšný efekt. Důvodem mohla být nejednotnost experimentálních plánů, výzkumných souborů, vybrané zátěže a doba zotavení a rozsah působení. I přes použití zotavných procedur, které vyžadují čas a někdy i mnoho vynaložených financí, není zaručen žádoucí výsledek.

Z přehledu literatury a z vlastních zkušeností se zdá, že právě ledování a studená voda současně s aktivním zotavením působí na urychlení zotavných procesů k odstranění únavy.

Podle intenzity a doby trvání zátěže dělíme svalový výkon na krátkodobý, střednědobý a dlouhodobý. Každá svalová zátěž je doprovázena únavou, která negativně působí centrálně nebo lokálně na další pohybovou činnost.

Po krátkodobé zátěži většinou maximální intenzity se k odstranění únavy používají ledové zábaly. Po střednědobé zátěži se doporučuje použít aktivní druh zotavení nebo různé druhy hydroterapií. Po dlouhodobé zátěži je nejpoužívanější pasivní druh zotavení.

K odstranění lokální únavy se používá nejvíce ledových zábalů. Ledování se aplikuje ve formě ledových sáčků o teplotě od  $-12^{\circ}\text{C}$  až  $0^{\circ}\text{C}$ , které jsou přikládány na zatěžovanou končetinu nebo ve formě ledové vody o teplotě  $0-5^{\circ}\text{C}$ . Doba ponoru do ledové vody a přikládání ledových zábalů se doporučuje od 20 s do 30 s.

Teplota studené vody se doporučuje od  $2-15^{\circ}\text{C}$ , kdy je do vody ponořeno celé tělo až po krk nebo jen zatěžované končetiny. Doba trvání aplikace studené vody je doporučována na 0,5 až 5 min, kdy je třeba prokládat studenou vodu přestávkami o trvání minimálně 2 min, aby nedošlo k zastavení procesu zotavení. Často je studená voda prokládána teplou o teplotě  $37-43^{\circ}\text{C}$ . Teplá voda je střídána po stejné době se studenou vodou.

Aktivní druh zotavení je nejčastěji vykonáván na bicyklovém ergometru o intenzitě zatížení 35-130 %  $VO_{2max}$  nebo také v intervalu 50-65 % maxima SF. Doba trvání aktivního zotavení by se měla pohybovat od 7,5-40 min. Chůze byla aplikována méně často, její intenzita se pohybovala v rozmezí 50-65 % maxima SF a doba trvání chůze byla stanovena na 10-15 min.

Pasivní zotavení slouží jako nejjednodušší druh zotavení, se kterým porovnáváme jiné druhy zotavných procedur. Nejčastěji je aplikován v poloze vsedě nebo vleže bez doprovodných činností. Doba trvání pasivního odpočinku bývá uváděna nejméně 40 s až 15 min.

Shrnutím přehledu poznatků o zotavných procedurách je možné formulovat několik otázek, na které budeme hledat odpovědi.

- Jak velké budou změny u opakovaného krátkodobého svalového výkonu vlivem ledování?
- Jak dlouho a v jakém rozsahu musí být přiložen ledový zábal, aby došlo k minimálním změnám krátkodobého svalového výkonu?
- Jak velké změny střednědobého svalového výkonu můžeme očekávat po aplikaci aktivního odpočinku a studené vody?
- Jak dlouho musí být aplikován aktivní odpočinek a v jaké intenzitě, aby došlo k minimálním změnám střednědobého svalového výkonu?
- Jak dlouho musí působit studená voda a jaká musí být její teplota, aby nedošlo ke změnám opakovaného střednědobého svalového výkonu?

Odpovědět na uvedené otázky je důležité pro potřeby sportovního tréninku u sportů, jejichž sportovní výkon je založen na opakovaných krátkodobých a střednědobých výkonech.

### **3 CÍLE, HYPOTÉZY A ÚKOLY**

#### **Cíle:**

Cílem studie bylo porovnat vliv dvou druhů zotavení (ledování, pasivní zotavení) na opakovaný krátkodobý svalový výkon a vliv tří druhů zotavení (aktivní zotavení, studená voda, pasivní zotavení) na opakovaný střednědobý svalový výkon extenzorů a flexorů kolenního kloubu.

#### **Hypotézy:**

1. Ledování nebude mít vliv na opakovaný krátkodobý svalový výkon v porovnání s pasivním zotavením.
2. Po aktivním zotavení a po hydroterapii ve studené vodě nedojde k významnému poklesu opakovaného střednědobého svalového výkonu v porovnání s pasivním zotavením.

#### **Úkoly:**

1. Rešerše literatury a příprava protokolu na měření krátkodobého a střednědobého svalového výkonu při extenzi a flexi v kolenním kloubu.
2. Určení reliability měření svalového výkonu extenzorů a flexorů kolenního kloubu na izokinetickém dynamometru.
3. Měření opakovaného krátkodobého svalového výkonu po ledování a po pasivním zotavení.
4. Měření opakovaného střednědobého svalového výkonu po pasivním, aktivním zotavení a po hydroterapii ve studené vodě.
5. Zpracování a vyhodnocení výsledků.

## 4 METODIKA

Tento projekt je empirickým výzkumem a skládá se ze dvou na sebe navazujících částí.

- Reliabilita měření - určení reliability měření pomocí vnitrotřídního koeficientu reliability (ICC) izokinetické síly (maximální moment síly, celková práce a průměrný výkon) v kolenním kloubu na izokinetickém dynamometru Cybex Humac Norm, určení střední chyby měření jako hodnotitele věcné významnosti.
- Hlavní část výzkumu- vliv různých druhů zotavení (ledování, pasivní zotavení) na krátkodobý izokinetický výkon, vliv aplikace studené vody, aktivního a pasivního zotavení na střednědobý výkon, krátkodobý a střednědobý výkon určen maximálním momentem síly, celkovou prací, průměrným výkonem, měření SF v průběhu měření.

### 4.1 RELIABILITA MĚŘENÍ

Jedním z úkolů bylo určit velikost reliability měření maximálního momentu síly (MMS), celkové práce (CP) a průměrného výkonu (PV) extenzorů a flexorů kolenního kloubu (KK) při izokinetické činnosti v úhlových rychlostech  $45^{\circ} \cdot s^{-1}$  (5 sérií po 5 opakování) a při rychlosti  $150^{\circ} \cdot s^{-1}$  (50 opakování) u skupiny trénovaných jedinců.

#### *Metodika a výzkumný soubor*

Jednalo se o stejnou skupinu jedinců jako v hlavní studii. Koeficient vnitrotřídní reliability (ICC) byl spočítán z naměřených hodnot prvního pokusu ze tří testovacích dnů. Velikost ICC byla určena pro extenzi a flexi KK a pro obě úhlové rychlosti pohybu a počtu opakování. Úhlové rychlosti byly vybrány na základě studie Pincivera a Campy (2004).

Střední chyby měření (SEM) byly zjištěny na základě znalosti ICC a směrodatné odchylky (SD) podle vzorce  $SEM = SD \cdot \sqrt{1 - ICC}$ .

#### *Výsledky*

V tabulce 10 jsou shrnuty hodnoty ICC a střední chyby měření (SEM) pro maximální moment síly, celkovou práci a průměrný výkon extenzorů a flexorů KK dominantní končetiny. Velikost ICC při  $45^{\circ} \cdot s^{-1}$  se pohybovala v rozmezí 0,59-0,94 pro

extenzi KK a pro flexi KK 0,54-0,58. Při rychlosti  $150^{\circ} \cdot s^{-1}$  se ICC pro extenzi KK pohybovalo 0,86-0,90 a pro flexi 0,52-0,70. Nejnižší hodnoty ICC byly zjištěny při flexi KK (0,52-0,70) a také pro celkovou práci pro obě úhlové rychlosti (0,56-0,88).

**Tabulka 10: Hodnoty vnitrotřídního korelačního koeficientu (ICC) jednotlivých charakteristik izokineticke síly extenzorů a flexorů kolenním kloubu (KK) při úhlových rychlostech  $45^{\circ} \cdot s^{-1}$  a  $150^{\circ} \cdot s^{-1}$**

	ICC				SEM			
	Úhlová rychlost otáčení $45^{\circ} \cdot s^{-1}$ (5 opak.)		Úhlová rychlost otáčení $150^{\circ} \cdot s^{-1}$ (50 opak.)		Úhlová rychlost otáčení $45^{\circ} \cdot s^{-1}$ (5 opak.)		Úhlová rychlost otáčení $150^{\circ} \cdot s^{-1}$ (50 opak.)	
	Extenze	Flexe	Extenze	Flexe	Extenze	Flexe	Extenze	Flexe
<b>MMS-D</b>	0,94	0,54	0,90	0,52	9,7	21,3	8,6	10,2
<b>CP -D</b>	0,59	0,56	0,88	0,70	30,7	24,1	322,7	360,4
<b>PV-D</b>	0,92	0,58	0,86	0,66	6,0	10,2	16,4	16,9

\* MMS-maximální moment síly, CP-celková práce, PV-průměrný výkon; SEM-střední chyba měření v absolutních hodnotách maximálního momentu síly (MMS) v Newton-metrech (N.m), celkové práce (CP) v Joulech (J), průměrného výkonu (PV) ve Watech (W) dominantní končetiny (D)

## 4.2 HLAVNÍ ČÁST VÝZKUMU

### 4.2.1 Výzkumný soubor

Soubor tvořilo 14 mužů (průměr  $\pm$  směrodatná odchylka) ve věku  $26,6 \pm 4,4$  let, o tělesné výšce  $1,80 \pm 0,06$  m a tělesné hmotnost  $74,6 \pm 5,2$  kg (tuku  $11,5 \pm 1,9$  %, aktivní tělesné hmoty  $65,9 \pm 4,5$  kg; určeno bioimpedanční metodou podle Bunce (1995)). Jednalo se o studenty tělovýchovného směru na FTVS UK, kteří aktivně sportují. Žádný z testovaných nevedl skutečnosti, které by mohly ovlivnit průběh měření. Během posledních dvou let žádný ze studentů neutrpěl zranění nebo onemocnění dolních končetin. Žádný z testovaných nebyl kontraindikován pro aplikaci krátkodobé a střednědobé zátěže nebo aplikaci zotavných procesů.

Měření bylo provedeno pouze na dominantní končetině. Dvanáct ze 14 účastníků označilo pravou dolní končetinu jako dominantní.

Výzkum byl schválen etickou komisí FTVS UK a testovaní byli informováni o průběhu testování a svým podpisem dali souhlas k měření. Souhlas etické komise a vzor informovaného souhlasu je součástí příloh.

## 4.2.2 Experimentální plán

Naše výzkumná práce má kvantitativní charakter a podle Thomase, Nelsona (1996) a Trochima (2001) se jednalo o randomizovaný vnitroskupinový experiment s kříženým plánem. Každý jedinec tak byl ve skupině s experimentálními faktory (ledování, aktivní zotavení, studená voda) i ve skupině kontrolní (pasivní zotavení). Trochim (2001) tento způsob křížení nazývá Switching-Replications Design.

Vliv zotavení na krátkodobý a střednědobý svalový výkon byl zjišťován na základě dvou experimentálních designů. U opakovaného krátkodobého výkonu se jednalo o 5x2 (čas x zotavení) vnitroskupinový experiment. Pro případ střednědobého opakovaného výkonu se jednalo o 3x3 (čas x zotavení) vnitroskupinový experiment.

Závisle proměnnými byly silové ukazatele (maximální moment síly, celková práce, průměrný výkon), SF a Borgova škála jako ukazatel subjektivního vnímání námahy (RPE).

Tabulka 12 udává postup aplikace zotavení po krátkodobém výkonu, kde je popsán postup opakovaného měření a zotavení (ledování a pasivní zotavení). V tabulce 13 je popsán postup opakované měření střednědobého výkonu a aplikace tří druhů zotavení (pasivní zotavení, aktivní zotavení, studená voda).

**Tabulka 11: Schéma postupu měření opakovaného krátkodobého výkonu, kde LED-ledování, PAS-pasivní zotavení, MMS-maximální moment síly, CP-celková práce, PV-průměrný výkon.**

<b>Krátkodobý výkon (MMS, CP, PV)</b>		
Randomizace do skupin		
Křížený plán	1. skupina (n=7)	2. skupina (n=7)
1. den	LED	PAS
2. den	PAS	LED

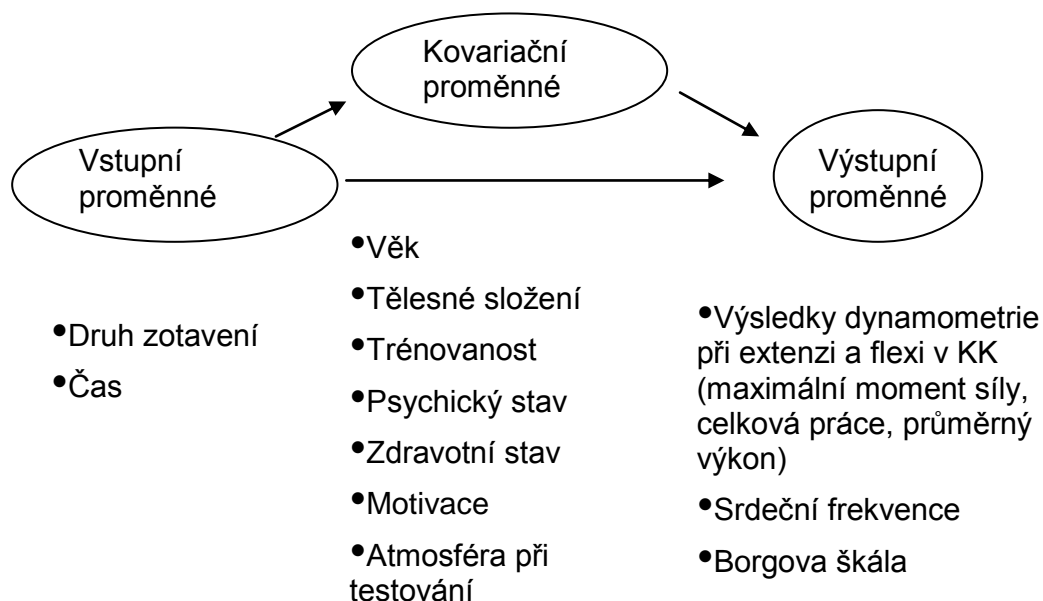


**Tabulka 12: Schéma postupu měření opakovaného střednědobého výkonu, kde AKT-aktivní zotavení, SV-studená voda, PAS-pasivní zotavení, MMS-maximální moment síly, CP-celková práce, PV-průměrný výkon.**

Střednědobý výkon (MMS, CP, PV)			
Randomizace do skupin			
Křížený plán	1. skupina (n=5)	2. skupina (n=5)	3. skupina (n=4)
1. den	AKT	SV	PAS
2. den	PAS	AKT	SV
3. den	SV	PAS	AKT

Vstupní a výstupní proměnné, uvažované kovariační proměnné, které by mohly mít vliv na výsledky měření, uvádíme ve schématu 2. Nástup a trvání únavy jsou závislé na trénovanosti jedince a jeho adaptaci na zátěž. Výsledky mohou být dále ovlivněny vstupní úrovní silových schopností, oxidativního metabolismu a anaerobní kapacitou.

**Schéma 2: Konkretizace vstupních, výstupních proměnných a uvažované kovariační proměnné, které by mohly mít vliv na výsledky**



### 4.2.3 Měření svalového výkonu

Měření krátkodobého a střednědobého výkonu dominantní končetiny při koncentrické extenzi a flexi v kolenním kloubu bylo realizováno na izokinetickém dynamometru Cybex Humac Norm (Cybex NORM®, Humac, CA, USA).

Ve většině sportů je právě extenze a flexe v kolenním kloubu elementárním prvkem pohybu. Realizace měření byla provedena v konstantních laboratorních podmínkách.

Nastavení křesla a dynamometru bylo provedeno pro měření extenze a flexe v kolenním kloubu tak, aby příčná osa kolenního kloubu byla současně osou ramene dynamometru. Proto bylo křeslo otočeno o 40° od původní polohy, otočení dynamometru bylo také 40°. Dynamometr byl ve výšce 8 cm od základní polohy. Vzdálenost křesla od dynamometru byla 38-40 cm podle rozměrů testovaného. Křeslo bylo nastaveno podle charakteru testovaného a podle návodu, kdy byla zvednuta sedací část křesla, a testovaný se držel po bocích madel. Pro stabilizaci těla a pánve byly použity pásy. Nastavení ramene dynamometru na měření síly v KK bylo závislé na konkrétní délce končetiny testovaného. Rozsah pohybu při měření KK byl přibližně 90°. Před každým měřením byla zvažena dolní končetina v plné extenzi a flexi ke korekci výstupů dynamometrie.

Zatěžovaná končetina byla upevněna nad kolenem popruhem k jeho stabilizaci. Nastavení křesla, dynamometru, adaptéru a rozsah pohybu byl zaznamenán softwarem dynamometru. Sledované parametry u měření koncentrického krátkodobého a střednědobého svalového výkonu byly stejné (maximální moment síly, celková práce, průměrný výkon).

Během měření izokinetické síly docházelo k hlasité verbální motivaci a vizuální motivaci pomocí shlednutí svých okamžitých výsledků. Byl měřen vždy jeden testovaný. Celé měření bylo prováděno jedním výzkumníkem. Výsledky však mohou být ovlivěny aktuálním dispozičním stavem každého jednotlivce a různorodou aspirací k podávanému výkonu.

#### ***Rozcvičení***

Rozcvičení před měřením probíhalo 15 min podle standardizovaného protokolu (5 min rozběhání na běhacím pásu, 5 min výskoky, odrazy a dřepy s výskokem, 5 min strečink). Před vlastním měřením izokinetické síly proběhlo zacvičení a zahřátí při

stejně úhlové rychlosti jako samotný test, tj.  $45^{\circ} \cdot s^{-1}$  a  $150^{\circ} \cdot s^{-1}$  (Pincivero & Campy, 2004).

#### **4.2.4 Aplikace zotavení během opakovaného krátkodobého výkonu**

Měření krátkodobého výkonu při koncentrické extenzi a flexi v kolenním kloubu (KK) bylo realizováno na základě studie Baptisty, Sheerena et al. (2009), kteří zjišťovali velikost únavy při maximální izometrické a izokinetické koncentrické činnosti při extenzi a flexi KK. Pro zjištění krátkodobého výkonu byla nastavena úhlová rychlost na  $45^{\circ} \cdot s^{-1}$  (5 opakování a 5 sérií) podle Pincivera et al. (1997). Celková doba 5 opakování byla 25-30 s, na kterou navazovalo 30s zotavení (ledování, pasivní zotavení) mezi sériemi. Pasivní zotavení probíhalo vsedě, kdy testovaný nesměl chodit ani se jinak hýbat.

Sáčky s ledem byly přikládány na stehenní sval po celém jeho obvodu. Další testovací den se skupiny vyměnily a absolvovaly opačný druh zotavení. Měření s opačným druhem zotavení proběhlo po 48 h, kdy je možné podat maximální krátkodobý výkon na stejné úrovni (Fleck & Kraemer, 1987).

#### **4.2.5 Aplikace zotavení během opakovaného střednědobého výkonu**

Měření střednědobého koncentrického výkonu při extenzi a flexi v kolenním kloubu bylo realizováno podle práce Pincivera a Campy (2004). Podle zmíněných autorů jsme třikrát v jeden den aplikovali zátěž definovanou konstantní úhlovou rychlostí  $150^{\circ} \cdot s^{-1}$  (50 opakování) s dobou trvání 70-80 s.

Mezi měřeními bylo aplikováno pasivní zotavení u jedné skupiny, aktivní zotavení u druhé skupiny a ponor do studené vody u třetí skupiny. V dalším měření se skupiny vyměnily. Celková doba mezi jednotlivými měřeními byla  $15 \pm 1$  min, kdy část z této doby byla využita na přechod mezi stanovišti a nastavení křesla a dynamometru.

Pasivní zotavení probíhalo vsedě na křesle dynamometru po dobu 15 min při pokojové teplotě  $22 \pm 1^{\circ}C$ .

Jako aktivní zotavení jsme zařadili chůzi po dobu 10 min na běžeckém pásu o rychlosti  $5,5 \text{ km} \cdot h^{-1}$  a sklonu v závislosti dosažení SF na 60-65 % individuální  $SF_{\max}$ .  $SF_{\max}$  byla určena při stupňovaném zátěžovém testu na běhacím pásu do vita maxima. Jedinci dosáhli  $SF_{\max} 194 \pm 10 \text{ tepů} \cdot \text{min}^{-1}$ .

Při aplikaci studené vody byly dolní končetiny ponořeny po boky do vody o teplotě  $13 \pm 1^\circ\text{C}$  s intervalem  $3 \times 2,5$  min a mezi ponory byla 2min přestávka mimo vodu (Vaile, Halson, Gill, & Dawson, 2008). Teplota vody byla stanovena na základě práce Malkinsona et al. (1981).

### ***Subjektivní hodnocení námahy (RPE)***

Borgova škála byla vybrána z důvodu hodnocení maximálního úsilí jedince podat co největší možný výkon. Všem byly slovně vysvětleny stupně použité stupnice RPE (6-20) (Borg, 1998). Ihned po otestování byla jedinci předložena Borgova škála vnímané námahy, ze které měl určit bez zaváhání, o jaký stupeň se jedná. Záznam RPE byl zjišťován po opakovaném krátkodobém a střednědobém výkonu.

### ***Srdeční frekvence***

Záznam SF byl zaznamenáván po celou dobu měření pomocí sporttestru (Polar RS 400, Finland). Byla vyhodnocena průměrná ( $SF_{\text{prum}}$ ) a maximální srdeční frekvence ( $SF_{\text{max}}$ ) v závislosti na druhu zotavení během opakovaného krátkodobého a střednědobého výkonu.

## **4.2.6 Vyhodnocení výsledků**

Pro vyhodnocení výsledků jsme použili metody základní popisné statistiky: míry centrální tendence - aritmetický průměr, míry variability – rozptyl, směrodatná odchylka. K posouzení experimentálních změn po praktické stránce jsme stanovili pro každý test kritické rozdíly na základě střední chyby měření (SEM- standard error of measurement), která je dána reliabilitou měřící metody a směrodatnou odchylkou souboru.

Významnost výsledků byla ověřena pro krátkodobý výkon  $5 \times 2$  (čas x zotavení) a pro střednědobý výkon  $3 \times 3$  (čas x zotavení) analýzou rozptylu s opakováním měření. Předpoklady analýzy byly ověřeny Mauchlyho testem sféricity. Věcná významnost výsledků byla posuzována na základě střední chyby měření (SEM) (tab. 10) a koeficientem  $\eta^2$ , který vyjadřuje procento celkového rozptylu vysvětleného nezávisle proměnnou. Statistická významnost rozdílů byla stanovena na hladině  $p \leq 0,05$ . K vyhodnocení výsledků byl použit statistický program SPSS pro Windows verze 18.0.

Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky maximálního momentu síly, celkové práce, průměrného výkonu pro extenzi a flexi KK, SF uvádíme ve sloupcových grafech. Směrodatná odchylka měření je zahrnuta v grafu jako horní mez. V textu uvádíme pro každý naměřený parametr silových ukazatelů analýzu rozptylu s F-statistikou a s posouzením věcné významnosti výsledků ( $\eta^2$ ).

Průměry maximální a průměrné SF byly hodnoceny pomocí sloupcových grafů v závislosti na druhu zotavení. Významnost změn SF vlivem zotavení byla ověřena párovým t-testem se stanovenou hladinou významnosti  $p \leq 0,05$ .

Borgova škála byla hodnocena pomocí modusu z důvodu ordinálnosti dat pro krátkodobý a střednědobý výkon vzhledem k zotavnému procesu.

## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 VLIV LEDOVÁNÍ NA KRÁTKODOBÝ SVALOVÝ VÝKON

Zjistili jsme významný pokles maximálního momentu síly, celkové práce a průměrného výkonu extenzorů a flexorů KK mezi prvním a pátým měřením u obou typů zotavení (ledování a pasivní zotavení).

Pro případ opakovaného krátkodobého svalového výkonu jsme zaznamenali menší % snížení maximálního momentu síly, celkové práce a průměrného výkonu u extenze než u flexe. V závislosti na druhu zotavení je u extenze menší % pokles silových charakteristik při ledování. Opačný jev sledujeme u flexe (tab. 13).

**Tabulka 13: Procentuální (%) změny (↓pokles) maximálního momentu síly, celkové práce a průměrného výkonu při opakovaném měření krátkodobého svalového výkonu po pasivním zotavení (PAS) a po ledování (LED)**

% změny mezi 1. a 5. měřením		Extenze	Flexe
Max. moment síly	PAS	↓10,7	↓ 14,2
	LED	↓ 6,6	↓ 16,0
Celková práce	PAS	↓11,5	↓ 20,9
	LED	↓ 0,0	↓ 22,2
Průměrný výkon	PAS	↓10,2	↓ 20,3
	LED	↓ 4,7	↓ 20,7

Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky silových ukazatelů (MMS, CP, PV) jsou znázorněny pro extenzory v grafech 1-3 a pro flexory v grafech 4-6.

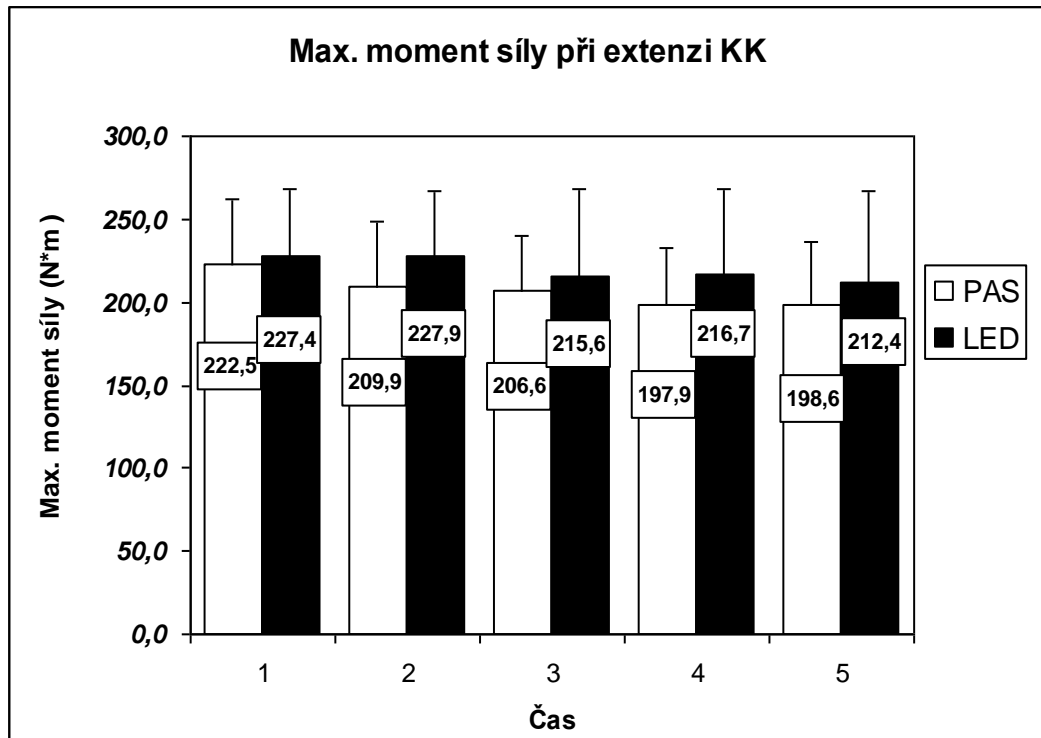
Pro extenzory KK byl faktor času statisticky i věcně významný. Pro maximální moment síly  $F_{1,52}=6,6$  ( $p=0,00$ ),  $\eta^2=0,34$ , pro celkovou práci je  $F_{1,52}=4,2$  ( $p=0,01$ ),  $\eta^2=0,24$  a pro průměrný výkon  $F_{1,52}=6,2$  ( $p=0,00$ ),  $\eta^2=0,32$ .

Interakce času a zotavení pro extenzi KK nevykazuje statisticky ani věcně významné změny. Pro maximální moment síly se  $F_{1,52}=0,7$  ( $p=0,62$ ),  $\eta^2=0,05$ ; pro celkovou práci  $F_{1,52}=2,4$  ( $p=0,61$ ),  $\eta^2=0,16$  a pro průměrný výkon  $F_{1,52}=1,29$  ( $p=0,29$ ),  $\eta^2=0,09$ .

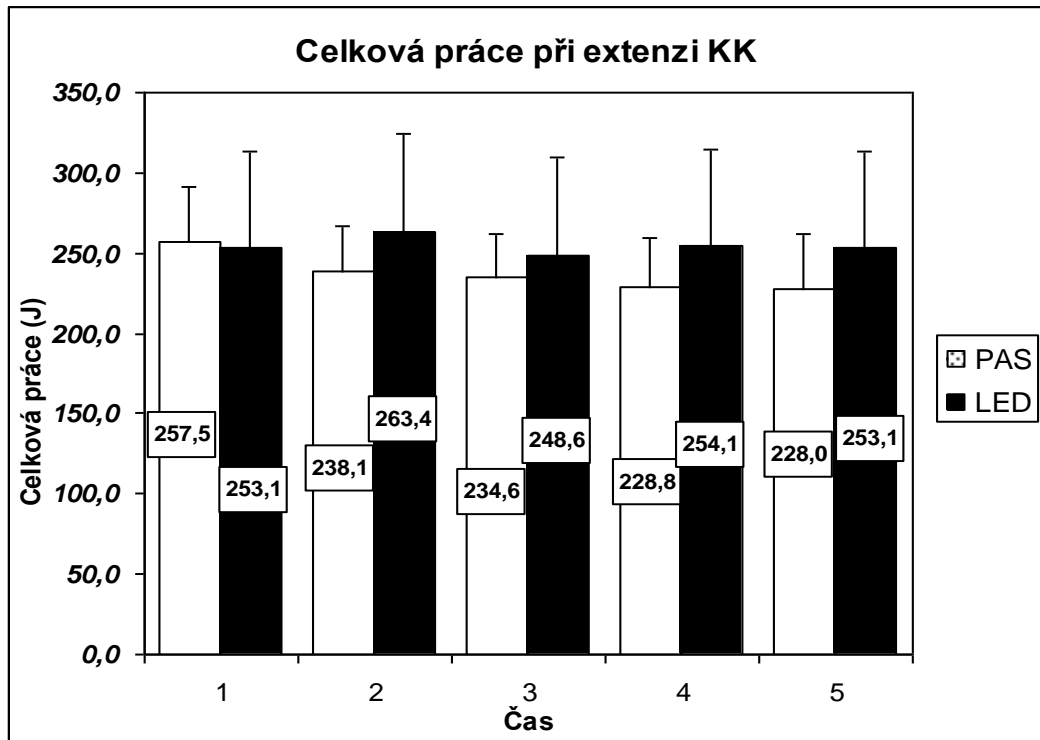
Pro flexi v kolenním kloubu byl čas statisticky a věcně významný. Pro maximální moment síly je  $F_{1,52}=9,8$  ( $p=0,00$ ),  $\eta^2=0,43$ . Pro celkovou práci a průměrný výkon je  $F_{1,52}=21,5$  ( $p=0,00$ ),  $\eta^2=0,62$  a  $F_{1,52}=21,1$  ( $p=0,00$ ),  $\eta^2=0,62$ .

Pro flexi KK interakce času a zotavení nebyla statisticky ani věcně významná. Pro maximální moment síly se  $F_{1,52}=0,39$  ( $p=0,82$ ),  $\eta^2=0,03$ , pro celkovou práci  $F_{1,52}=0,7$  ( $p=0,63$ ),  $\eta^2=0,05$  a pro průměrný výkon je  $F_{1,52}=0,7$  ( $p=0,63$ ),  $\eta^2=0,05$ .

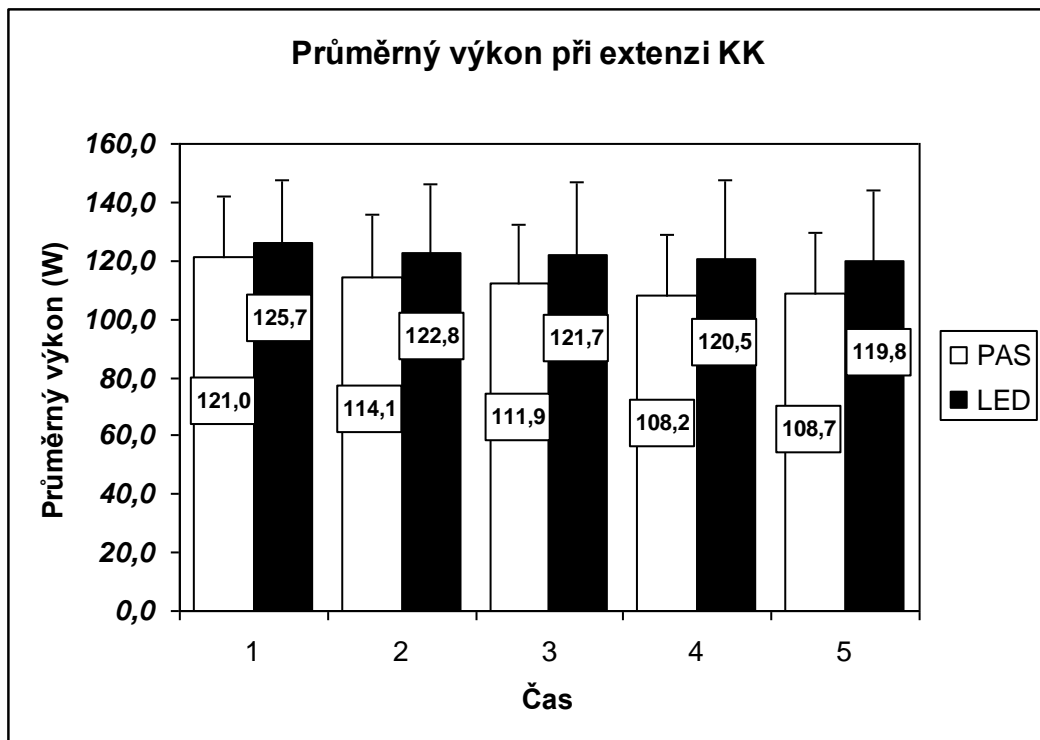
**Graf 1: Průměry a směrodatné odchylky maximálního momentu síly při extenzi KK při opakovaném měření krátkodobého výkonu u dvou druhů zotavení (PAS-pasivní zotavení, LED-ledování)**



Graf 2: Průměry a směrodatné odchylky celkové práce při extenzi KK při opakovaném měření krátkodobého výkonu u dvou druhů zotavení (PAS-pasivní zotavení, LED-ledování)

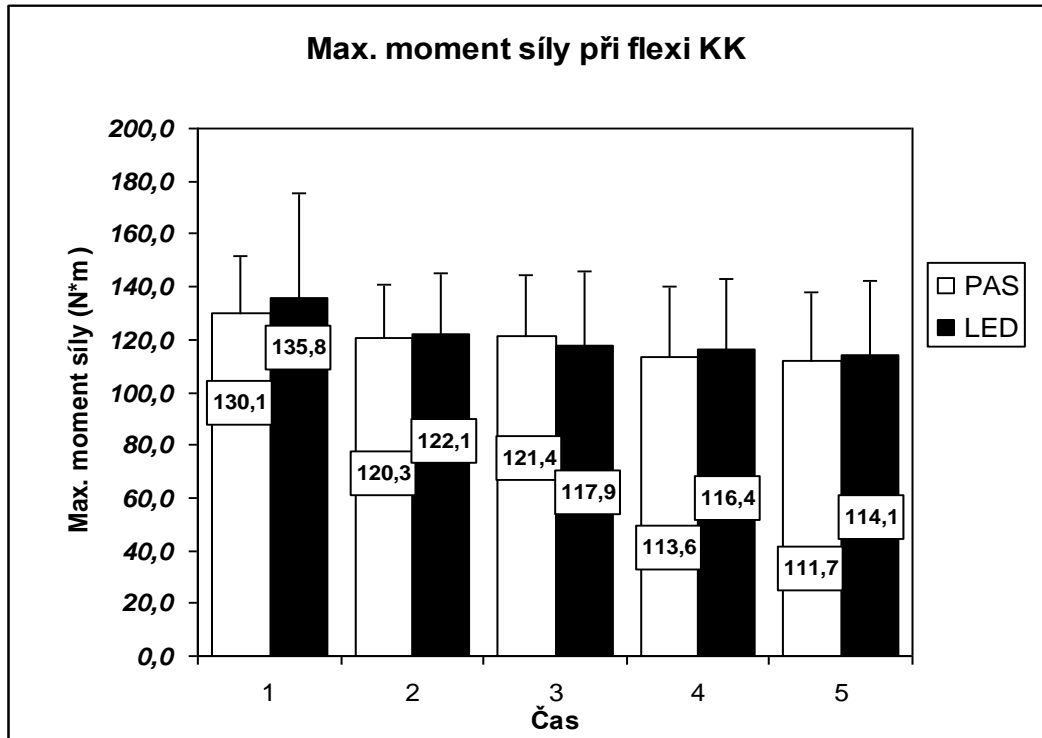


Graf 3: Průměry a směrodatné odchylky průměrného výkonu při extenzi KK při opakovaném měření krátkodobého výkonu u dvou druhů zotavení (PAS-pasivní zotavení, LED-ledování)

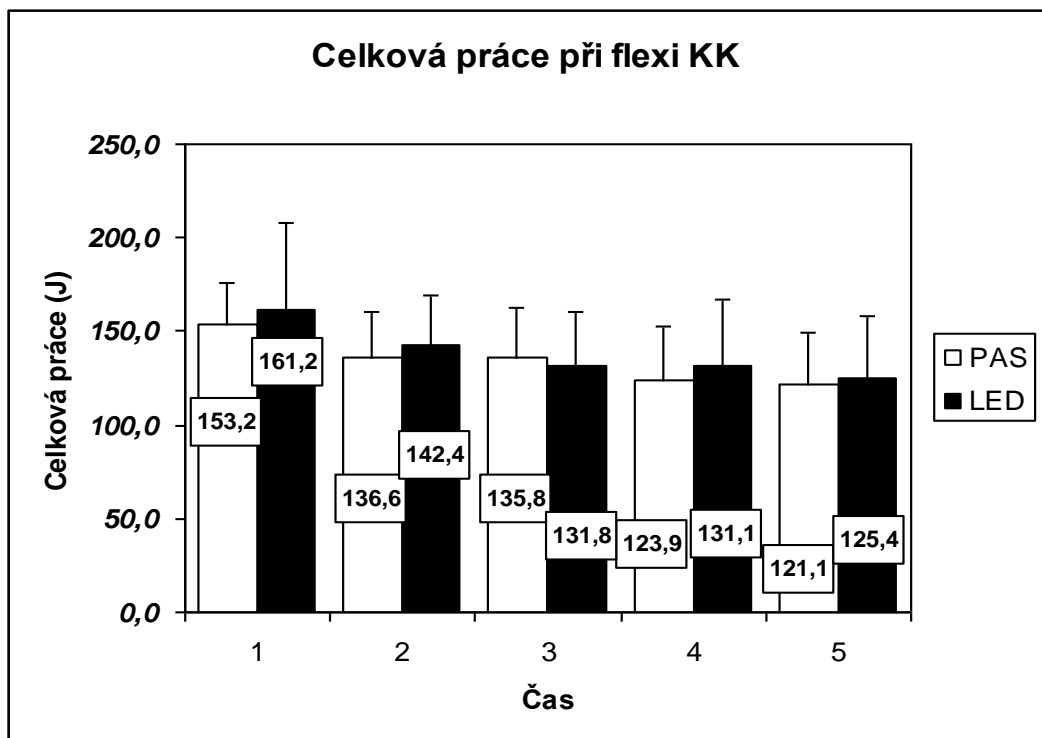




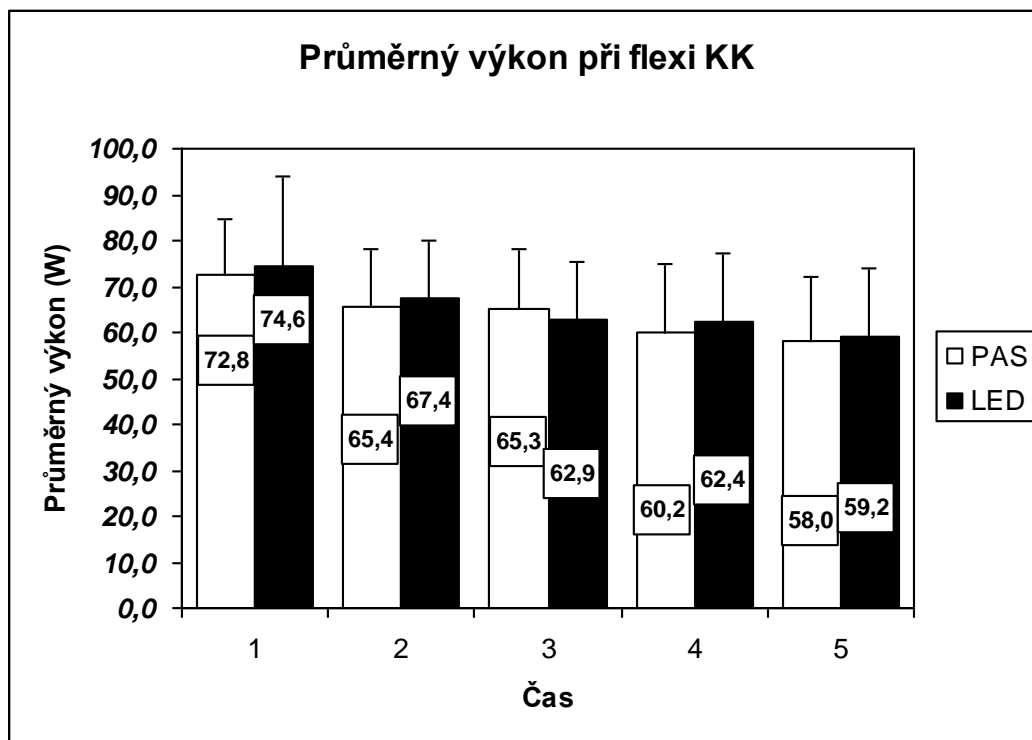
Graf 4: Průměry a směrodatné odchylky maximálního momentu síly při flexi KK při opakovaném měření krátkodobého výkonu u dvou druhů zotavení (PAS-pasivní zotavení, LED-ledování)



Graf 5: Průměry a směrodatné odchylky celkové práce při flexi KK při opakovaném měření krátkodobého výkonu u dvou druhů zotavení (PAS-pasivní zotavení, LED-ledování)



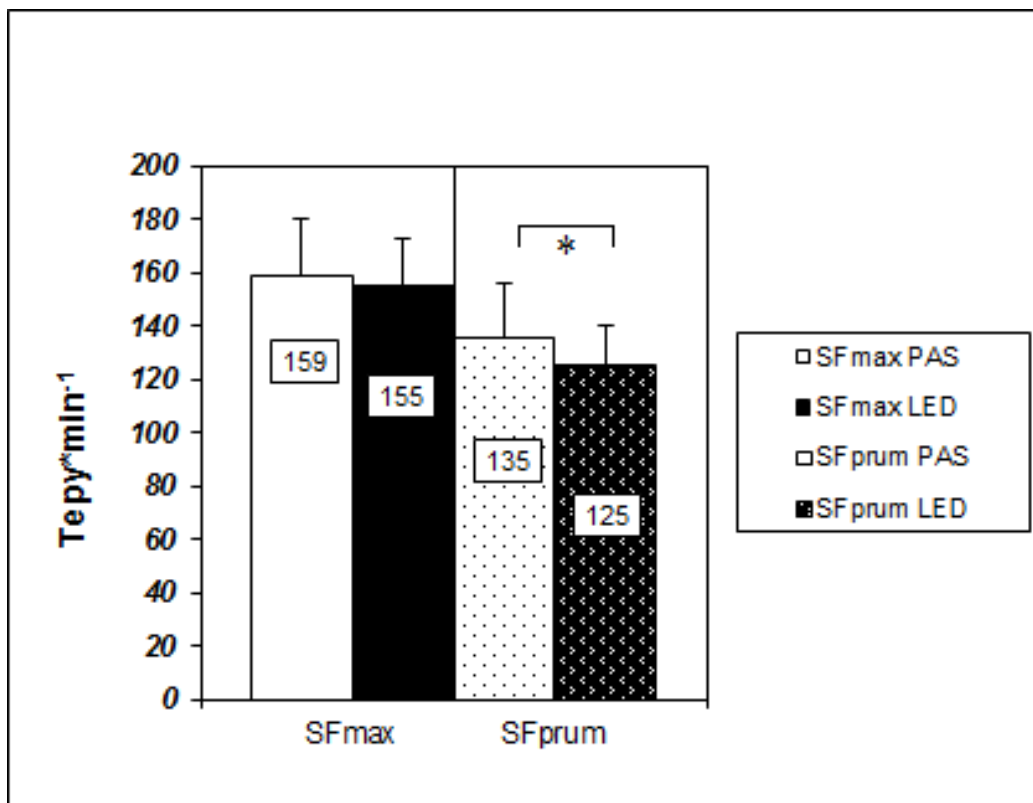
**Graf 6: Průměry a směrodatné odchylky průměrného výkonu při flexi KK při opakovaném měření krátkodobého výkonu u dvou druhů zotavení (PAS-pasivní zotavení, LED-ledování)**



#### ***Změny srdeční frekvence při aplikaci dvou druhů zotavení***

Rozdíly  $SF_{max}$  při pasivním zotavení a při aplikaci ledových zábalů nebyly významné ( $159 \pm 21$  vs.  $155 \pm 17$  tepů. $\text{min}^{-1}$ ,  $t_{1,13}=2,0$ ,  $p=0,07$ ). Shledali jsme však významný pokles  $SF_{prum}$  vlivem ledových zábalů v porovnání s pasivním odpočinkem ( $125 \pm 15$  vs.  $135 \pm 20$  tepů.  $\text{min}^{-1}$ ,  $t_{1,13}=2,2$ ,  $p=0,05$ ) (graf 7).

**Graf 7: Průměry a směrodatné odchylky maximální srdeční frekvence ( $SF_{max}$ ) a průměrné srdeční frekvence ( $SF_{prum}$ ) při opakovaném měření krátkodobého svalového výkonu u dvou druhů zotavení (PAS-pasivní zotavení, LED-ledování)**



\*významný rozdíl  $SF_{prum}$  PAS a  $SF_{prum}$  LED,  $p=0,05$ .

### **Subjektivně vnímaná námaha**

Výsledky uvádíme v tabulce 14 jako nejčastěji se opakující hodnoty (modus), z důvodu ordinální povahy dat. Zaznamenané stupně námahy vykazují, že jedinci na zátěž a dva druhy zotavení reagovali velmi podobně.

**Tabulka 14: Subjektivně vnímaná námaha (RPE) při opakovaném měření krátkodobého svalového výkonu u dvou druhů zotavení (PAS-pasivní zotavení, LED-ledování)**

RPE	PAS					LED				
Pokusy	1.	2.	3.	4.	5.	1.	2.	3.	4.	5.
Modus	17	18	19	19	19	20	18	19	19	20

Pro opakovanou krátkodobou zátěž se nejčastěji opakoval stupeň 19 „extrémně velká námaha“ při aplikaci pasivního zotavení. Po ledování zatěžovaných svalů se opakoval 2krát stupeň 20 „maximální námaha“ a 2krát stupeň 19 „extrémně velká námaha“.

## 5.2 VLIV AKTIVNÍHO ZOTAVENÍ A STUDENÉ VODY NA STŘEDNĚDOBÝ SVALOVÝ VÝKON

Při opakovaném střednědobém výkonu jsme zaznamenali pro extenzi kolenního kloubu (KK) významně menší změny maximálního momentu síly po aktivním zotavení ( $\uparrow 0,9$  N.m) v porovnání se studenou vodou ( $\downarrow 14,6$  N.m) a s pasivním odpočinkem ( $\downarrow 13,9$  N.m). Pro průměrný výkon jsme zaznamenali významný pokles po studené vodě ( $\downarrow 23,7$  W) a po pasivním zotavení ( $\downarrow 25,9$  W). Po aktivním zotavení ( $\downarrow 5$  W) jsme významný rozdíl nezaznamenali. Změny maximálního momentu síly a průměrného výkonu po aktivním i pasivním zotavení byly v rámci střední chyby měření (SEM), které jsou uvedeny v tabulce 10.

Procentuální změny opakovaného střednědobého svalového výkonu jsou shrnuty v tabulce 15.

**Tabulka 15:** Procentuální (%) změny ( $\downarrow$  pokles,  $\uparrow$  nárůst) maximálního momentu síly, celkové práce a průměrného výkonu při opakovaném měření střednědobého svalového výkonu po pasivním zotavení (PAS), aktivním zotavení (AKT) a studené vodě (SV)

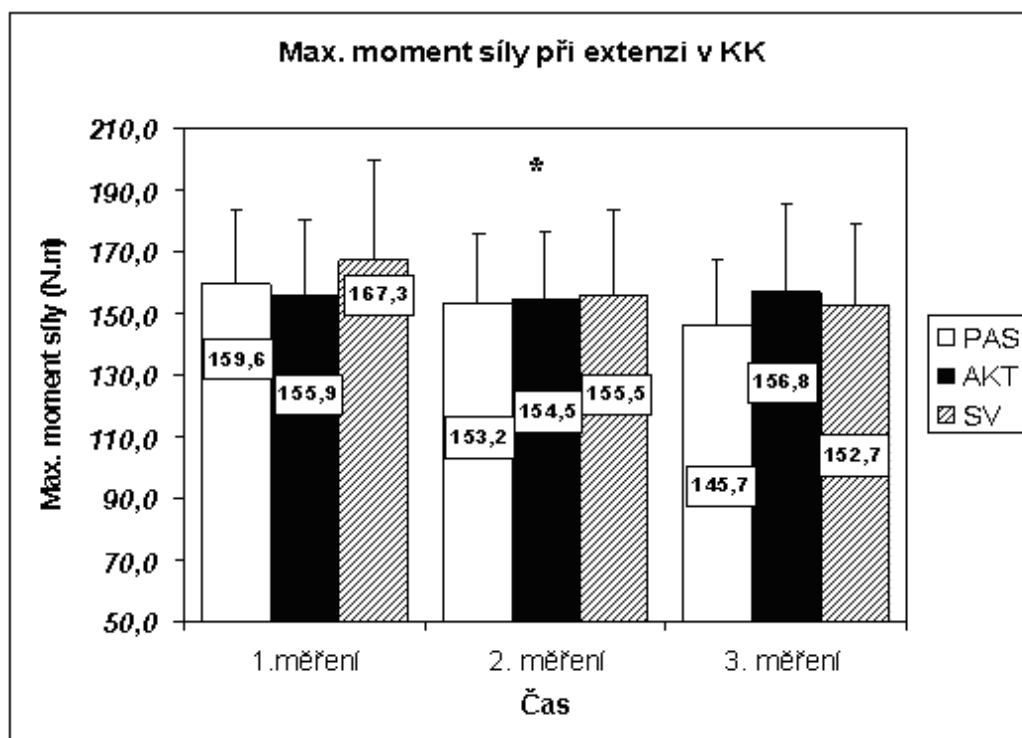
% změny mezi 1. a 3. měřeními		Extenze	Flexe
<i>Max. moment síly</i>	<b>PAS</b>	$\downarrow 8,7$	$\downarrow 2,1$
	<b>AKT</b>	$\uparrow 0,5$	$\downarrow 5,2$
	<b>SV</b>	$\downarrow 8,7$	$\downarrow 4,1$
<i>Celková práce</i>	<b>PAS</b>	$\downarrow 6,8$	$\uparrow 1,4$
	<b>AKT</b>	$\downarrow 1,3$	$\downarrow 1,1$
	<b>SV</b>	$\downarrow 1,0$	$\uparrow 3,6$
<i>Průměrný výkon</i>	<b>PAS</b>	$\downarrow 10,3$	$\downarrow 8,7$
	<b>AKT</b>	$\downarrow 2,0$	$\downarrow 5,6$
	<b>SV</b>	$\downarrow 9,0$	$\downarrow 3,1$

Pokles výkonu v závislosti na druhu zotavení je zobrazen na grafu pro extenzi KK (graf 8-10) a flexi KK (graf 11-13). Z uvedených grafů 8-13 je zřejmý pokles výkonu při aplikaci pasivního zotavení. Po aplikaci aktivního zotavení a studené vody se jeví výkon jako stabilní. Dokonce po poklesu výkonu v druhém měření následuje závěrečné nepatrné zvýšení maximálního momentu síly při aplikaci aktivního zotavení (graf 8).

V případě extenze KK jsme zaznamenali významné změny vlivem času pro maximální moment síly  $F_{2,26}=9,0$  ( $p=0,00$ ),  $\eta^2=0,41$ , pro celkovou práci  $F_{2,26}=3,5$  ( $p=0,04$ ),  $\eta^2=0,21$  a pro průměrný výkon  $F_{2,26}=6,8$  ( $p=0,00$ ),  $\eta^2=0,34$ .

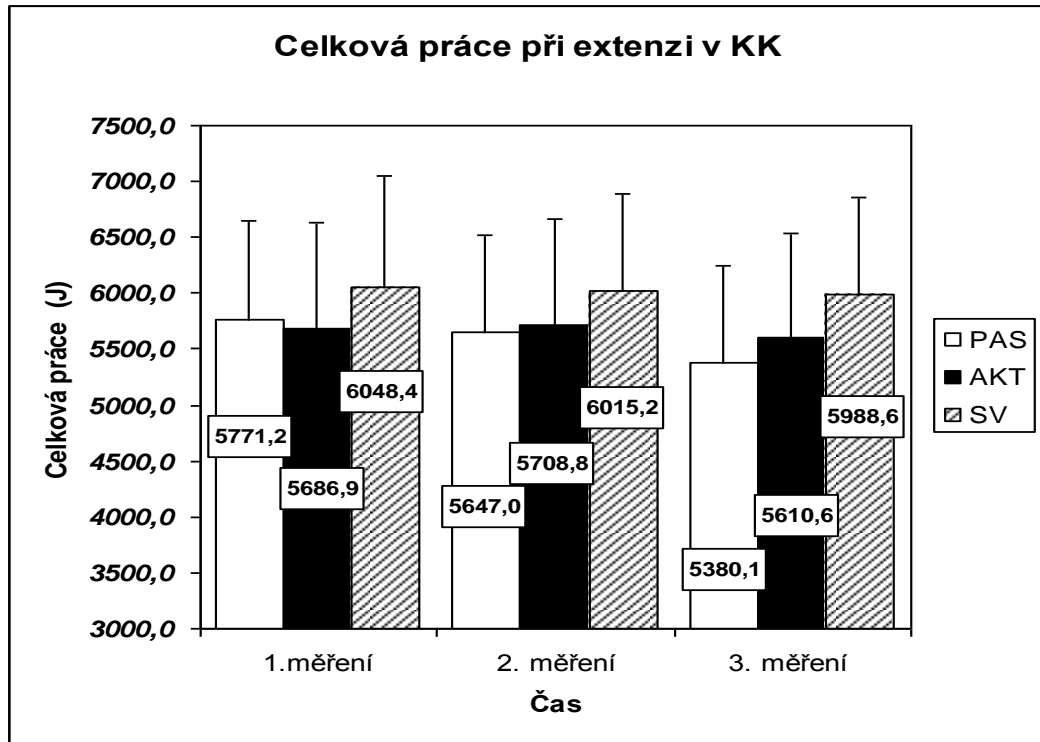
Pro extenzi KK bylo zotavení v interakci s pořadím měření statisticky i věcně významné pro maximální moment síly se  $F_{2,52}=5,9$  ( $p=0,00$ ),  $\eta^2=0,31$  a pro průměrný výkon  $F_{2,52}=2,7$  ( $p=0,04$ ),  $\eta^2=0,10$ . Zotavení v interakci s pořadím měření nemělo významný vliv na celkovou práci extezorů KK, kde  $F_{2,52}=1,4$  ( $p=0,25$ ),  $\eta^2=0,10$ .

**Graf 8:** Průměry a směrodatné odchylky maximálního momentu síly při extenzi KK při opakovaném měření střednědobého výkonu u tří druhů zotavení (PAS-pasivní zotavení, AKT-aktivní zotavení, SV-studená voda)

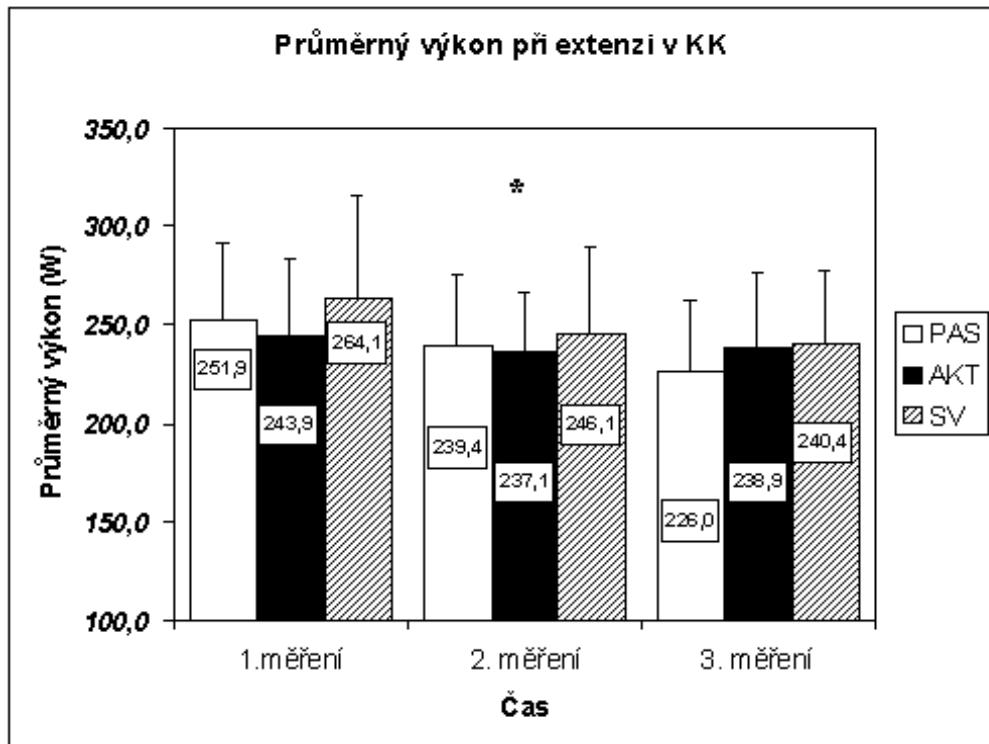


\*významná interakce zotavení a času  $p=0,00$ ;  $\eta^2=0,31$ .

Graf 9: Průměry a směrodatné odchylky celkové práce při extenzi KK při opakovaném měření střednědobého výkonu u tří druhů zotavení (PAS-pasivní zotavení, AKT-aktivní zotavení, SV-studená voda)



Graf 10: Průměry a směrodatné odchylky průměrného výkonu při extenzi KK při opakovaném měření střednědobého výkonu u tří druhů zotavení (PAS-pasivní zotavení, AKT-aktivní zotavení, SV-studená voda)



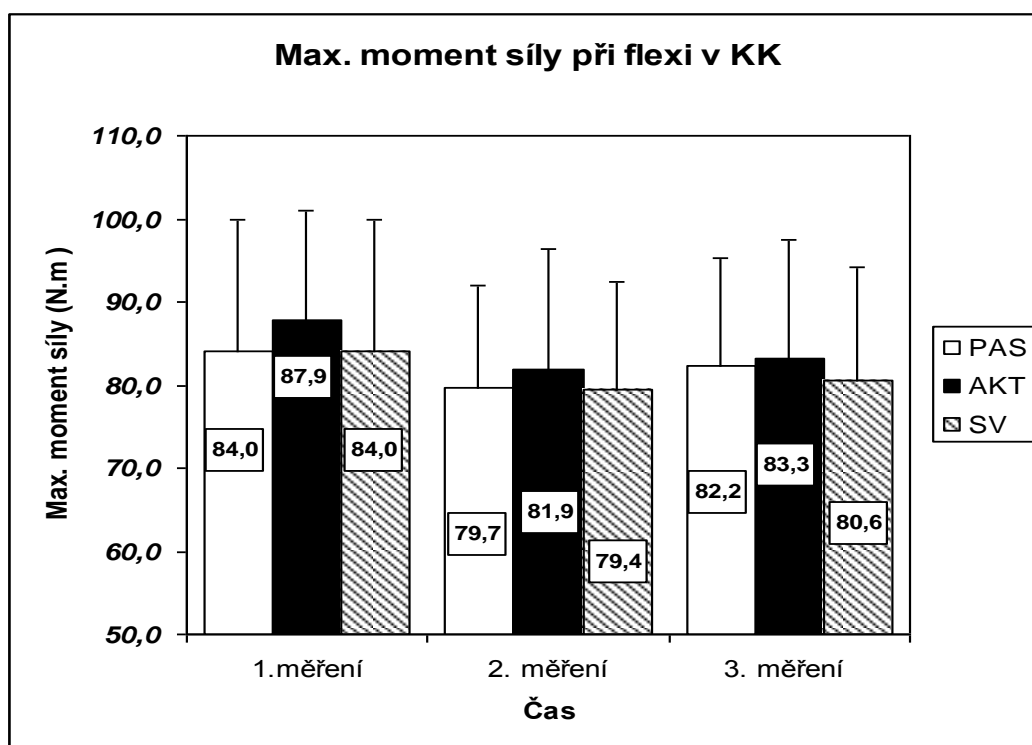
\*významná interakce zotavení a času  $p=0,04$ ;  $\eta^2=0,10$ .

Z grafů (11-13) pro flexi KK není zřejmý pokles maximálního momentu síly, celkové práce ani průměrného výkonu po aplikaci různých druhů zotavení. Rozdíly silových ukazatelů při opakovaném měření a po třech druzích zotavení nepřesahují střední chyby měření (SEM), které jsou uvedeny v tabulce 10. Pro flexi KK nejsou rozdíly z hlediska střední chyby měření významné.

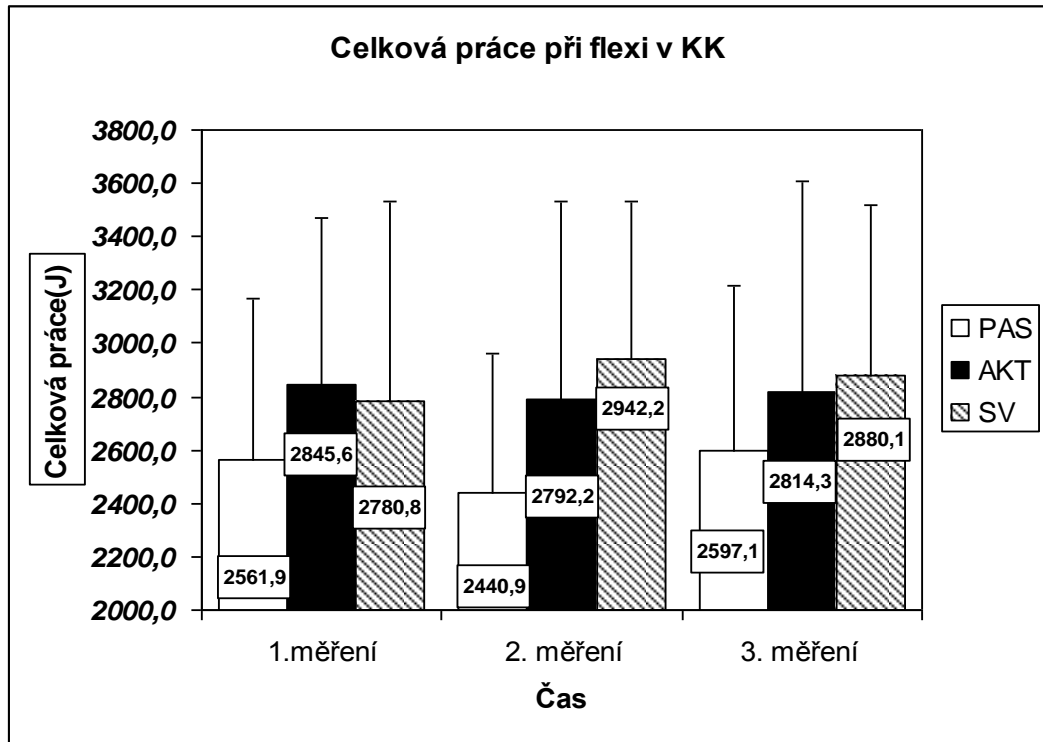
Na flexi KK měl čas významný vliv na maximální moment síly  $F_{2,26}=4,3$  ( $p=0,02$ ),  $\eta^2=0,25$  a průměrný výkon  $F_{2,26}=5,3$  ( $p=0,01$ ),  $\eta^2=0,29$ ). Pro celkovou práci byl čas statisticky i věcně nevýznamný ( $F_{2,26}=0,4$  ( $p=0,68$ ),  $\eta^2=0,03$ ).

Zotavení v interakci s pořadím měření nemělo významný vliv na maximální moment síly  $F_{2,52}=0,1$  ( $p=0,10$ ),  $\eta^2=0,06$ , na celkovou práci  $F_{2,52}=0,8$  ( $p=0,55$ ),  $\eta^2=0,06$  ani na průměrný výkon ( $F_{2,52}=0,2$  ( $p=0,92$ ),  $\eta^2=0,02$ ).

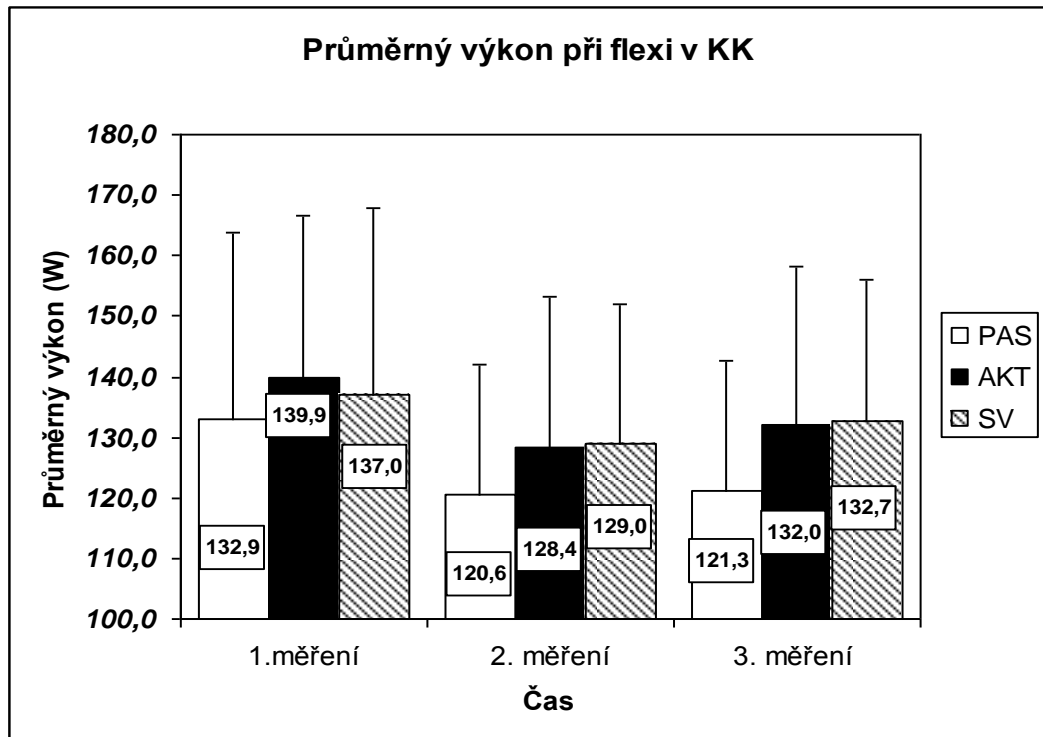
**Graf 11: Průměry a směrodatné odchylky maximálního momentu síly při flexi KK při opakovaném měření střednědobého výkonu u tří druhů zotavení (PAS-pasivní zotavení, AKT-aktivní zotavení, SV-studená voda)**



Graf 12: Průměry a směrodatné odchylky celkové práce při flexi KK při opakovaném měření střednědobého výkonu u tří druhů zotavení (PAS-pasivní zotavení, AKT-aktivní zotavení, SV-studená voda)



Graf 13: Průměry a směrodatné odchylky průměrného výkonu při flexi KK při opakovaném měření střednědobého výkonu u tří druhů zotavení (PAS-pasivní zotavení, AKT-aktivní zotavení, SV-studená voda)



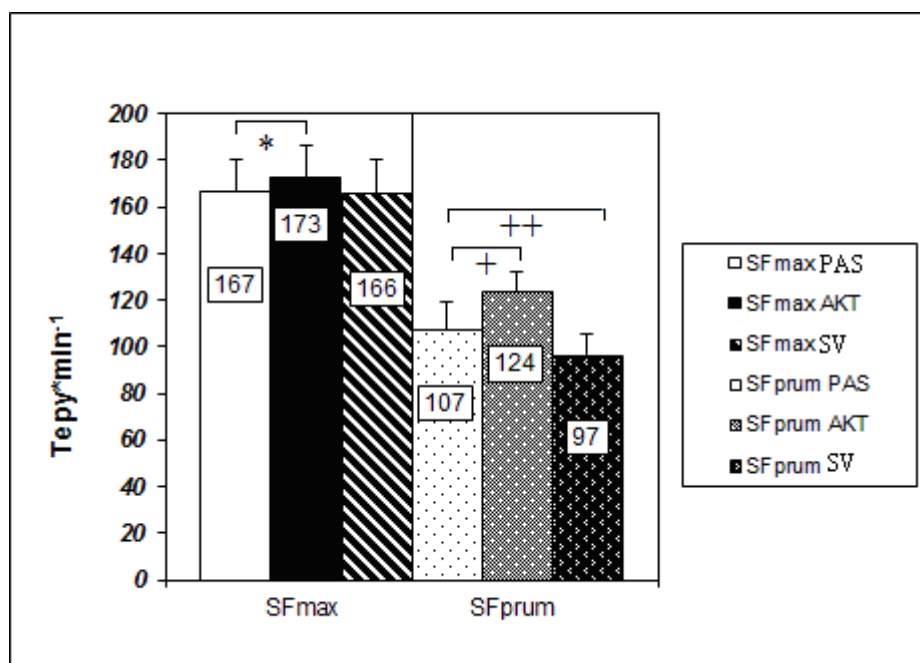


### Srdeční frekvence při aplikaci tří druhů zotavení

Při aplikaci aktivního zotavení byla  $SF_{max}$  během zátěže při aktivním zotavení v porovnání s pasivním ( $167 \pm 14$  tepů.  $\text{min}^{-1}$ ) významně vyšší ( $173 \pm 14$  tepů.  $\text{min}^{-1}$ ,  $t_{2,13}=2,7$ ;  $p=0,02$ ). Zjistili jsme podobné hodnoty  $SF_{max}$  při aplikaci pasivního druhu zotavení a studené vody ( $167 \pm 14$  vs.  $166 \pm 14$  tepů.  $\text{min}^{-1}$ ).

$SF_{prum}$  se lišily v závislosti na druhu zotavení. Vlivem aktivního zotavení byla  $SF_{prum}$  významně vyšší než při pasivním zotavení  $124 \pm 8$  vs.  $107 \pm 12$  tepů.  $\text{min}^{-1}$  ( $t_{2,13}=4,5$ ;  $p=0,00$ ).  $SF_{prum}$  při pasivním zotavení byla  $107 \pm 12$  tepů.  $\text{min}^{-1}$  a při studené vodě  $97 \pm 9$  tepů.  $\text{min}^{-1}$ , rozdíl byl významný ( $t_{2,13}=2,5$ ;  $p=0,03$ ), (graf 14).

**Graf 14: Průměry a směrodatné odchylky maximální srdeční frekvence ( $SF_{max}$ ) a průměrné srdeční frekvence ( $SF_{prum}$ ) při opakovaném měření střednědobého svalového výkonu u tří druhů zotavení (PAS-pasivní zotavení, AKT-aktivní zotavení, SV-studená voda)**



\*významný rozdíl  $SF_{max}^{PAS}$  a  $SF_{max}^{AKT}$ ,  $p=0,02$ ;

+významný rozdíl  $SF_{prum}^{PAS}$  a  $SF_{prum}^{AKT}$ ,  $p=0,00$ ;

++významný rozdíl  $SF_{prum}^{PAS}$  a  $SF_{prum}^{SV}$ ,  $p=0,03$ .

### ***Subjektivně vnímaná námaha (RPE)***

Z tabulky 16 pro opakovanou střednědobou zátěž nalézáme nejvyšší stupeň námahy při pasivním zotavení a to 2krát 19 „extrémně velká námaha“. Nejnižší stupeň vnímané námahy jsme zaznamenali při aplikaci studené vody a to 16 mezistupeň „velké námahy a velmi velké námahy“. Aktivní zotavení se vyznačoval nejčastěji stupněm 17 „velmi velkou námahou“ a stupněm 18 mezistupeň „velmi velké námahy a extrémně velké námahy“.

**Tabulka 16: Subjektivně vnímaná námaha (RPE) při opakovaném měření střednědobého svalového výkonu u tří druhů zotavení (PAS-pasivní zotavení, AKT-aktivní zotavení, SV-studená voda)**

RPE	PAS			AKT			SV		
Pokusy	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
Modus	17	19	19	17	17	18	17	16	19

## 6 DISKUSE

Cílem studie bylo porovnat vliv dvou druhů zotavení na opakovaný krátkodobý svalový výkon a vliv tří druhů zotavení na opakovaný střednědobý svalový výkon extenzorů a flexorů KK. Jednalo se o koncentrickou svalovou činnost při konstatní rychlosti otáčení kolem kolenního kloubu. Právě flexe a extenze KK je elementární pohyb, který se nalézá téměř u všech běžných i sportovních pohybových činností (chůze, běh, jízda na kole, kopy). Studie se zúčastnilo 14 sportovců s pravidelnou pohybovou aktivitou. Jinou reakci na udržení maximálního opakovaného výkonu můžeme očekávat u nesportujících jedinců (Baechle & Earle, 2008).

Jedinci, kteří se podíleli na výzkumu, pravidelně provozovali širokou škálu pohybových aktivit minimálně třikrát týdně. Z důvodu zachování denního biorytmu bylo měření prováděno vždy dopoledne a u jednotlivce byl zachován stejný čas při opakovaném měření. Všichni se účastnili celého měření. V průběhu neprodělali žádné onemocnění, které by vedlo ke změnám výsledků. I přes randomizaci účastníků do skupin o jiném druhu zotavení nebyly zjištěny stejné výchozí hodnoty naměřených dat. Z toho důvodu mohly být hodnoty reliability měření (ICC) výzkumu nižší než udávají jiné studie shrnuté v práci Strejcové, Baláše a Süsse (2010). Nižší ICC mohlo být způsobeno vlivem zacvičení na izokinetickém dynamometru a posílením měřené končetiny. Křížený plán studie zajistil, že každý jedinec absolvoval všechny druhy zotavení. Jedinci byli motivováni hlasitým povzbuzováním a vizuálně pomocí aktuálních výsledků na monitoru. Nemohli jsme však ovlivnit aktuální dispoziční stav jedince. V laboratoři se nevyskytovaly jiné osoby, které by mohly jedince při maximálním výkonu obtěžovat, nebo jinak na něj působit. Uvažujeme však také možný vliv vnitřního diskomfortu (aplikace studené vody) nebo jiných vlivů psychologických jevů v průběhu měření. Psychologickou stránku, ani motivaci jedince tato studie neobsáhla.

## 6.1 VLIV LEDOVÁNÍ NA KRÁTKODOBÝ SVALOVÝ VÝKON

Pro opakovaný krátkodobý výkon byly použity dva druhy zotavení (pasivní zotavení a lokální ledování) a pro druhý opakovaný výkon tři druhy zotavení (pasivní zotavení, aktivní zotavení a ponor do studené vody). Mezi závisle proměnné patřily maximální moment síly, celková práce, průměrný výkon, SF a Borgova škála jako hodnotitel RPE.

V naší práci jsme zaznamenali významný pokles svalového výkonu po ledování i pasivním zotavením. Efekt ledování se neprojevil. Podobné závěry po aplikaci ledových zábalů uvádí Thornley et al. (2003), kteří používali sáčky o teplotě  $-11,9 \pm 1,8^\circ\text{C}$  po dobu 30 s. Nezjistili významné změny mezi prvním a druhým měření maximálního momentu síly ( $207 \pm 40$  vs.  $188 \pm 56$  N.m) vlivem působení ledových zábalů. Avšak ledování mělo významný vliv na impuls síly v porovnání s aplikací teplých zábalů. Po teplých zábalech zaznamenali pokles impulsu síly o  $17 \pm 10$  %, kdežto po ledování jeho nárůst o  $7 \pm 26$  % ( $p < 0,05$ ) (Thornley, Maxwell, & Cheung, 2003). Impuls síly jsme v našem případě nesledovali. Jak uvádí Capko (1998) ledování aplikované po dobu 30 s působí pouze na reflexní mechanismy. Změny v hlubších vrstvách jsou vyvolány až po delší době působícího chladu. Je možné, že pozitivní efekt u Verducciho (2000, 2001) nastal z důvodu delší doby aplikace ledových sáčků nebo díky střídání ledování (3 min) a pasivního zotavení o pokojové teplotě (4,5 min). Verducci (2000, 2001) zaznamenal významný vliv ledování na opakované zvedání činky a na rychlost a přesnost baseballových odpalů. Vlivem ledování byla zaznamenána větší vykonaná celková práce (o 14,1 %,  $p = 0,03$ ), také průměrný výkon (o 3,4 %,  $p = 0,03$ ) na rozdíl od placebo (příkládané ručníky) (Verducci, 2000). Stejnou aplikaci ledových zábalů použil (Verducci, 2001) u skupiny baseballových hráčů, kde zjistil po ledování významně rychlejší odpal (2,9 %,  $p = 0,00$ ). I když se po ledování zvýšil počet odpálených míčků, vliv zotavení nebyl významný (9,3 %,  $p = 0,72$ ).

Rozdílnost výsledků opakovaného svalového výkonu mohla být způsobena individuální reakcí jedinců na aplikované ledové zábaly. Thornley, Maxwell a Cheung (2003) uvádějí, že rozdílné působení ledování je ovlivněno rozdílnou skladbou tkání, různou tepelnou kapacitou, použitím různorodých ledových zábalů a především vlivem dalších endogenních a exogenních faktorů, které působí na změny teploty kůže.

V naší studii nebyly rozdíly  $SF_{\max}$  po aplikaci ledových zábalů (30 s) a pasivním zotavením významné. Jedinci dosáhli svého maxima SF během aplikované zátěže bez

ohledu na zotavení. Vlivem aplikace lokálního ledování došlo k významnému snížení  $SF_{prum}$  ( $125 \pm 15$  vs.  $135 \pm 20$  tepů.  $min^{-1}$ ,  $p=0,05$ ) než při pasivním zotavení.

Podobné účinky na srdeční frekvenci má i studená voda. Studená voda (kolem  $10^{\circ}C$ ) způsobila pokles SF první, druhou a třetí minutu ponoru na 95, 92 a 84 tepů. $min^{-1}$  (Eglin & Tipton, 2005). Během ponoru do ledové vody se zvýšil diastolický i systolický krevní tlak. Tyto reakce jsou pozorovány spíše v případech, pokud se jedná o celkové ponoření těla do studené vody. Při ponoření jen části těla nebo končetiny dochází pouze k lokálním změnám. Při ponoru celého těla do vody může mít vliv na změny fyziologických funkcí také hydrostatický tlak (Capko, 1998; Mantoni, Belhage, & Pedersen, 2007).

Po aplikaci ledových zábalů uváděli jedinci vyšší hodnoty RPE než bez nich. Pouze 3 ze 14 účastníků uvedli menší hodnotu vnímané námahy po ledování než po pasivním zotavení. V případě lokálního ochlazení docházelo k znecitlivění tkáně a dokonce u dvou případů i k nepříjemné bolesti flexorů KK. Ostatní jedinci v případě ledování uváděli pocit *těžké končetiny*. Ve většině případů ledové zábaly měly vliv na zmenšení bolestivosti měkkých tkání (Eston & Peters, 1999). Většina účastníků po aplikaci ledových zábalů ve studiích Verducciho (2000, 2001) konstatovala snížení bolestivosti zatěžovaných svalů ihned po zátěži a také v dalších dvou dnech po měření než po pasivním zotavení. Ke zjištění námahy a bolestivosti po zátěži je užíváno mnoho škál, proto jsme srovnávali pouze vyvolané změny po ledování ve srovnání s pasivním odpočinkem.

## **6.2 VLIV AKTIVNÍHO ZOTAVENÍ A STUDENÉ VODY NA STŘEDNĚDOBÝ SVALOVÝ VÝKON**

Pro střednědobý opakovaný výkon jsme zjistili pouze minimální změny svalového výkonu vlivem aktivního zotavení a studené vody v porovnání s pasivním odpočinkem. Významný vliv aktivního zotavení se projevil pouze pro případ extenze KK pro opakovaný maximální moment síly a průměrný výkon. Pro celkovou práci se efekt neprojevil. Pro flexi KK nebyly zaznamenány významné změny u opakovaného střednědobého výkonu vlivem aktivního zotavení a studené vody v porovnání s pasivním odpočinkem. Významný efekt aktivního zotavení a studené vody jsme zaznamenali pouze pro extenzi KK pro opakované měření maximálního momentu síly a průměrného výkonu.

Vliv zotavení na flexi KK nebyl ani pro jeden ze silových ukazatelů významný.

Jako aktivní zotavení byla vybrána chůze o intenzitě 65 % maxima SF, která je jednoduchá na koordinaci a lze ji vykonávat téměř všude ve venkovním prostředí. Aktivní zotavení ve formě běhu nebo jízdy na kole mělo podobné účinky na opakovaný střednědobý výkon jako chůze. Důležitá je intenzita aktivního zotavení než forma (Cochrane, 2004). Chůze (intenzita 65 % maxima SF) byla použita ve studii Baláše, Chovana a Martina (2010), kdy po aktivním zotavení poklesl lezecký výkon (počet lezeckých kroků a dobu strávenou na stěně) pouze o 14 % a po pasivním zotavení o 41 %. Jednalo se však výkon vázaný hlavně na sílu horních končetin. V našem případě jsme zaznamenali po aplikaci chůze o stejné intenzitě dokonce minimální zvýšení maximálního momentu síly extenzorů o 0,5 %, pokles celkové práce a průměrného výkonu o 1,3 % a 2,0 %. Zjistili jsme, že chůze je pro opakované měření izokinetické síly dolních končetin adekvátní prostředek zotavení. V jiných studiích (Heyman, De Geus, & Mertens, 2009; Watts, Daggett, Gallagher, & Wilkins, 2000) zaměřených na lezecký výkon byl bicyklový ergometr taktéž významným druhem zotavení pro udržení počtu lezeckých kroků než pasivní zotavení. Domníváme se, že aktivní druh zotavení by měl být vybrán podle lokalizace zatěžovaných svalů a specifikace pohybového úkolu. To se také potvrdilo v několika studiích (Bielik, 2010; Vanderthommen, Makrof, & Demoulin, 2010). Vanderthommen, Makrof a Demoulin (2010) zaznamenali po 24 h po aktivním zotavení na bicyklovém ergometru (intenzita 50 % SF<sub>max</sub>, po dobu 25 min) zvýšení maximálního výkonu na bicyklovém ergometru v porovnání s pasivním odpočinkem (105,3±12,2 vs. 99,1±10,7 %). Rozdíl nebyl významný (p=0,64). Takové

zvýšení mohlo nastat po delší době zotavení nebo tím, že intenzita během aktivního zotavení byla nižší než v našem případě. Nemůžeme však porovnat konkrétní výkony, protože jsme extenzi a flexi hodnotili samostatně, kdežto u bicyklového ergometru se jedná o sloučení obou pohybů. Taktéž delší dobu zotavení (20 min) aplikoval Bielik (2010), který zaznamenal menší pokles maximálního a průměrného výkonu po aktivním zotavení než po pasivním ( $970,2 \pm 68,9$  vs.  $875,5 \pm 56,2$  W,  $p < 0,05$  a  $746,1 \pm 47,0$  vs.  $678,4 \pm 45,2$  W). Vliv zotavení (aktivní vs. pasivní) na index únavy nebyl významný ( $35,2 \pm 7,7$  vs.  $33,6 \pm 8,4$  %). Koncentrace laktátu byla významně nižší po aktivním zotavení než po pasivní formě ( $7,4 \pm 3,9$  vs.  $13,3 \pm 2,9$  mmol.l<sup>-1</sup>,  $p < 0,01$ ) (Bielik, 2010). V našem případě jsme potvrdili významný vliv zotavení pro maximální moment síly a průměrný výkon extenzorů ( $p = 0,001$ ). U opakovaného měření výkonu flexorů KK jsme významné změny vlivem zotavení nezaznamenali. V tréninkovém procesu jsou právě flexory často opomíjeny a často vlivem nedostatečné svalové přípravy dojde k jejich zranění (Greig & Siegler, 2009).

Vliv aktivního zotavení na hladinu krevního laktátu po zátěži je velmi dobře zdokumentován, ale mechanismus vlivu laktátu na opakovaný výkon je stále diskutován (Barnett, 2006; Dodd, Powers, Callender, & Brooks, 1984; Watts, Daggett, Gallagher, & Wilkins, 2000).

Mechanismy snížení nebo udržení výkonu vlivem zotavení popsal mnoho autorů (Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003; Bielik, 2010; Heyman, De Geus, & Mertens, 2009; Watts, Daggett, Gallagher, & Wilkins, 2000). Několik autorů (Allen, Lamb & Westerblad, 2008; Chin & Allen, 1997; Place, Yamada, Bruton, & Westerblad, 2010; Westerblad, Bruton, Allen, & Lannergren, 2000) se shoduje na tom, že neschopnost kontraktility je způsobena nedostatečným přísunem vápenatých a jiných iontů k pracujícím svalovým vláknům, než zvýšením koncentrace laktátu.

Po aplikaci studené vody bylo snížení výkonu minimální jak u extenze, tak u flexe KK. Vliv studené vody se u flexe projevil nejmenším % poklesem maximálního momentu síly, práce a výkonu. Studená voda byla střídána s pobytem při pokojové teplotě, aby nedošlo k úplné zástavě zotavných procesů. V našem případě byl ponor do studené vody pouze částečný (po kyčle) z důvodu zátěžování dolních končetin a možných kontraindikací studené vody na močové cesty. K ponoru vystačil sud o objemu 200 l, kde jedinci stáli. Teplota vody ( $13 \pm 1^\circ\text{C}$ ) byla udržována pomocí přidávání ledové vody a sáčků s ledem. Po opakovaném ponoru se u některých jedinců teplota vody v sudu zvedla až na  $15^\circ\text{C}$ . V jiných studiích (Parouty et al., 2010; Peiffer,

Abbiss, Watson, Nosaka, & Laursen, 2010) byla teplota vody 14°C, ale jedinci byli ponořeni vsedě až po krk 5 min a 5 min seděli při pokojové teplotě. V těchto případech však nebyl zjištěn významný vliv na opakovaný střednědobý výkon, ba dokonce se zhoršil sprinterský výkon u skupiny plavců. Teplota vody a trvání ponoru se zdálo být pro naši studii optimální. Podobné poznatky o teplotě vody a trvání střídajícího se ponoru do studené vody potvrdili Baláš, Chovan a Martin (2010) u skupiny lezců, kteří aplikovali studenou vodou na předloktí.

Aplikace studené vody poukazuje na několik zotavných dějů, které během ní probíhají. Jedná se o lokální vazokonstrikci cévního řečiště, zvýšení lokálního průtoku krve, může dojít k minimalizaci buněčných nekrotických změn, otoků, zpomalení buněčného metabolismu, zpomalení nervového přenosu a prostřednictvím proprioreceptorů ke snížení bolestivosti zatěžovaných svalů. Kladné používání hydroterapie na rychlost odplavení metabolitů můžeme přisuzovat také hydrostatickému tlaku, který by mohl mít další doprovodné účinky na krevní oběh (Ingram, Dawson, Goodman, Wallman, & Beilby, 2009; Vaile, Halson, Gill, & Dawson, 2008).

Barnett (2006) poznamenal, že některé aplikace studené vody mají kontraindikační efekt, který nemůžeme spolehlivě vysvětlit na základě zotavných procesů. Tímto názorem můžeme vysvětlit nevýznamnost vlivu studené vody na celkovou práci extenze KK a silových parametrů flexorů KK.

### ***Srdeční frekvence***

V naší práci jsme zaznamenali významně vyšší  $SF_{max}$  ( $173 \pm 14$  tepů.min<sup>-1</sup>,  $p=0,02$ ) při aktivním zotavení než při pasivním ( $167 \pm 14$  tepů.min<sup>-1</sup>). Aktivní zotavení vyvolalo také významně vyšší hodnoty  $SF_{prum}$  ( $124 \pm 8$  tepů. min<sup>-1</sup>,  $p=0,00$ ) než pasivní zotavení ( $107 \pm 12$  tepů. min<sup>-1</sup>). Významný nárůst  $SF_{prum}$  ( $125 \pm 12,4$  tepů. min<sup>-1</sup>,  $p<0,01$ ) zaznamenal Bielik (2010) po aktivním zotavení vykonávaném na bicyklovém ergometru v porovnání s pasivním odpočinkem ( $105,1 \pm 8,2$  tepů. min<sup>-1</sup>). Shodujeme se s prací Dropera et al. (2006), kteří aplikovali také chůzi na běhacím pásu po lezeckém výkonu. Během lezeckých kol se po aktivním zotavení  $SF_{prum}$  zvýšila. Po aktivním zotavení zjistili autoři strmější nárůst SF než po pasivním zotavení. Rozdíly mezi  $SF_{max}$  a  $SF_{prum}$  po aktivním a pasivním zotavení nebyly významné. Rozdíly mohly být dány lokalizací zátěže (Baláš, Chovan, & Martin, 2010; Draper, Bird, Coleman, & Hodgson, 2006). Předpokládáme trochu odlišné fyziologické reakce organismu při střednědobé zátěži aplikované na dolní končetinu než u koordinačně náročné lezecké činnosti.



Rozdíl  $SF_{prum}$  při aplikaci studené vody a pasivního zotavení byl významný ( $97 \pm 9$  vs.  $107 \pm 12$  tepů.  $min^{-1}$ ,  $p=0,03$ ).  $SF_{max}$  se vlivem studené vody v porovnání s pasivním odpočinkem významně nezměnila ( $166 \pm 14$  vs.  $167 \pm 14$  tepů.  $min^{-1}$ ). Podobné výsledky  $SF_{max}$  a  $SF_{prum}$  při aplikaci studené vody a pasivního zotavení ( $165 \pm 17$  vs.  $168 \pm 14$  a  $147 \pm 16$  vs.  $150 \pm 14$  tepů.  $min^{-1}$ ) zaznamenali Baláš, Chovan a Martin (2010), kteří nezjistili mezi nimi významné rozdíly vlivem zotavení. Taktéž minimální rozdíly  $SF_{max}$  mezi studenou vodou ( $168 \pm 9$  tepů.  $min^{-1}$ ) a pasivním odpočinkem ( $169 \pm 12$  tepů.  $min^{-1}$ ) zaznamenali Parouty et al. (2010), kteří aplikovali u plavců 5 min ponory do studené vody ( $15^{\circ}C$ ) až po krk. Vlivem studené vody došlo také k poklesu  $SF_{prum}$ .

### ***Subjektivně vnímaná námaha***

Po aplikaci tří různých druhů zotavení měli účastníci po každém měření subjektivně ohodnotit vynaloženou námahu na Borgově stupnici 6-20. Cílem bylo zjistit, zda jedinci prováděli pohyb s maximálním úsilím a jaké subjektivní změny vyvolalo aktivní zotavení a studená voda v porovnání s pasivním odpočinkem.

Při subjektivním posouzení vlivu tří druhů zotavení na opakovaný výkon jsme zjistili minimální rozdíly ( $\pm 1$  stupeň) subjektivně vnímané námahy na RPE. Nejvyšší hodnoty byly zaznamenány po pasivním zotavení. V porovnání s pasivním odpočinkem a studenou vodou řadíme aktivní zotavení mezi druh zotavení, který snižuje vnímanou námahu. Nástup do nejvyšší vnímané námahy byl pozvolný. Podobný nástup RPE (po aktivním zotavení) na stejné Borgově škále (6-20) potvrdil Draper et al. (2006) u skupiny lezců na umělé stěně. Jedinci uváděli kladné až libé pocity během chůze na běhacím pásu po každém střednědobém výkonu.

Autoři (Barnett, 2006; Cochrane, 2004; Ingram, Dawson, Goodman, Wallman, & Beilby, 2009; Parouty et al., 2010) zjistili, že studená voda může snižovat stupeň vnímané námahy a bolestivost zatěžovaných svalů ihned po zátěži nebo i po několika dnech po testování. V našem případě se jedinci ve většině případů shodli na snížení bolestivosti zatěžované tkáně, snížení vnímané námahy. Důvodem mohla být omezená citlivost proprioreceptorů. Jak uváděli testování, působila studená voda jako aktivátor k činnosti a probuzení. Stejně závěry a taktéž nižší hodnotu o jeden stupeň na Borgově škále vlivem studené vody zaznamenal pouze jeden námi udávaný autor (Parouty et al., 2010).

Naše výsledky vnímané námahy nemůžeme přesně srovnávat s ostatními (Heyman, De Geus, & Mertens, 2009; Ingram, Dawson, Goodman, Wallman, & Beilby,

2009; Myrer, Draper, & Durrant, 1994; Watts, Daggett, Gallagher, & Wilkins, 2000), protože používali jiné hodnotící škály (Likertovu škálu, DOMS, VAS, atd.). Závěry se však shodují na podobné tendenci snižování nepříjemných pocitů (bolesti, námahy) vlivem ledování nebo studené vody. Důležitým konstatováním je fakt, že se v našem případě jednalo o velmi trénované jedince mužského pohlaví, kteří jsou zvyklí na náročnou pohybovou zátěž. Obecná nespportující populace nebo ženy mohou stupeň námahy pociťovat odlišně (Eston & Evans, 2009; Mocková & Radvanský, 2003). Z tohoto důvodu je naše studie omezena na velmi specifickou část populace.

U koordinačně náročných činností lze očekávat významný vliv zotavení na rozdíl od elementárních izolovaných pohybů. Krátkodobá a střednědobá zátěž byla aplikována jen na dominantní končetinu, proto nemůžeme námi zjištěné poznatky aplikovat na ucelené pohybové činnosti.

Výsledky u některých jedinců ukazovaly velký rozdíl výkonu extenzorů a flexorů mezi testovacími dny. Pro vyhodnocení výsledků byl uvažován i součet resp. průměr naměřených silových ukazatelů extenzorů a flexorů KK. Vyhodnocením sečtených výsledků jsme nezjistili žádné významné změny v závislosti na druhu zotavení.

Pro minimalizaci vlivu vnějšího prostředí (rychlost a směr větru, povrch, vybavení, počasí, tlak vzduchu, rušivé vlivy) jsme výzkum uskutečnili v laboratorních podmínkách za stálé teploty a tlaku. Připouštíme, že v reálných podmínkách nemusí mít tyto vybrané druhy zotavení vliv na krátkodobý a střednědobý opakovaný svalový výkon.

## 7 ZÁVĚRY

U krátkodobé svalové zátěže došlo k poklesu svalového výkonu extenzorů a flexorů KK po ledování i pasivním zotavení. Ledování nemělo významný vliv.

Při ledování se významně snížila ve srovnání s pasivním zotavením  $SF_{prum}$  ( $125 \pm 15$  vs.  $135 \pm 20$  tepů.min<sup>-1</sup>;  $p=0,047$ ), u  $SF_{max}$  jsme významné změny nezaznamenali. Ledování nemělo vliv na RPE hodnoty při krátkodobé zátěži. Avšak použití ledových zábalů, může posloužit ke krátkodobému utlumení bolestivosti zatěžovaných svalů. Je možné, že doba ledování má významný vliv na svalový výkon. Doporučujeme aplikovat ledové zábaly po dobu delší než 30 s max. však 1 min, aby nedošlo k úplnému zastavení zotavných procesů.

Při opakovaném střednědobém výkonu jsme zaznamenali pro extenzi kolenního kloubu (KK) významně menší změny maximálního momentu síly po aktivním zotavení ( $\uparrow 0,9$  N.m) v porovnání se studenou vodou ( $\downarrow 14,6$  N.m) a s pasivním odpočinkem ( $\downarrow 13,9$  N.m). Pro průměrný výkon jsme zaznamenali významný rozdíl poklesu po aktivním zotavení ( $\downarrow 5$  W) po studené vodě ( $\downarrow 23,7$  W) a po pasivním zotavení ( $\downarrow 25,9$  W). Změna celkové práce nebyla významná. Aktivní zotavení a studená voda neměly významný vliv na celkovou práci extenzorů a na opakovaný střednědobý výkon flexorů KK.

V porovnání s pasivním zotavením aplikace aktivního zotavení významně zvýšila  $SF_{max}$  ( $167 \pm 14$  vs.  $173 \pm 14$  tepů. min<sup>-1</sup>) a  $SF_{prum}$  ( $107 \pm 12$  vs.  $124 \pm 8$  tepů. min<sup>-1</sup>). Studená voda v porovnání s pasivním odpočinkem neměla významný vliv na změny  $SF_{max}$ , ale rozdíly  $SF_{prum}$  ( $97 \pm 9$  vs.  $107 \pm 12$  tepů. min<sup>-1</sup>) byly významné. Podle Borgovy škály (RPE) byla největší námaha pocíťována po pasivním zotavení. Nižší hodnoty vnímané námahy na RPE byly nejčastěji uváděny po studené vodě a po aktivním zotavení.

Pro udržení opakovaného střednědobého výkonu bychom doporučovali zvolit aktivní odpočinek o střední intenzitě pohybové činnosti, jako například chůzi, běh, jízdu na kole, nebo plavání. V naší práci jsme zjistili pozitivní vliv zotavení při použití chůze. Domníváme se však, že i jiné pohybové aktivity o dané intenzitě, by mohly mít podobné účinky. Doba trvání činnosti a druh pohybové aktivity by měly být ověřeny v dalších studiích. I když jsme nepotvrdili pozitivní účinky studené vody na udržení svalového výkonu, domníváme se, že by bylo vhodné studenou vodu aplikovat po delší

dobu a teplota vody by měla být o trochu nižší (kolem 10°C). Delší doba (15-20 min) chlazení zatěžovaných svalových skupin v několika studiích potvrdila pozitivní účinek. Pasivní forma zotavení se doporučuje pouze po dlouhodobém aerobním cvičení. Při činnostech krátkodobého a střednědobého trvání vykazoval svalový výkon po pasivním zotavení největší pokles. V mnoha sportovních činnostech patří mezi hlavní složky výkonu i psychologický stav jedince. Účinky námi vybraných druhů zotavení by mohli pomoci odbourat únavu a udržet tak opakovaný výkon na nejvyšší úrovni.

## 8 SEZNAM LITERATURY

- Achten, E., VanCauteren, M., & Willem, P. L. T. (1990). P-NMR spectroscopy and the metabolic properties of different muscle fibers. *J Appl Physiol*, 68, 644-649.
- Allen, D., & Westerblad, H. (2010). What limits exercise during high-intensity aerobic exercise? *Eur J Appl Physiol*, 110, 661-662.
- Allen, D. G., Lamb, G. D., & Westerblad, H. (2008). Impaired calcium release during fatigue. *Journal of Appl Physiol*, 104, 296-305.
- Allen, D. G., Lamb, G. D., & Westerblad, H. (2008). Skeletal Muscle Fatigue: Cellular Mechanisms. *Physiol Rev*, 88, 287-332.
- Allen, D. G., Lännergren, J., & Westerblad, H. (2002). Intracellular ATP measured with luciferin/luciferase in isolated single mouse skeletal muscle fibres. *Pflügers Arch - Eur J Physiol*, 443, 836-842.
- Allen, D. G., & Westerblad, H. (2001). Role of phosphate and calcium stores in muscle fatigue. *Journal of Physiology*, 536, 657-665.
- Astrand, P. O., Rodahl, K., Dahl, H. A., & Stromme, S. B. (2003). *Textbook of Work Physiology. Physiological Bases of Exercise* (4th ed.). Champaign, IL.: Human Kinetics.
- Baechle, T. R., & Earle, R. W. (2008). *Essential of strength training and conditioning*. . Champaign, IL.: Human Kinetics.
- Baláš, J., Chovan, P., & Martin, A. (2010). Effect of hydrotherapy, active and passive recovery on repeated maximal climbing performance. *Acta Universitatis Carolinae Kinanthropologica*, 46(2), 69-76.
- Baptista, R. R., Scheeren, E. M., MacIntosh, B. R., & Vaz, M. A. (2009). Low-frequency fatigue at maximal and submaximal muscle contractions. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 42, 380-385.
- Barnett, A. (2006). Using Recovery Modalities between Training Sessions in Elite Athletes: Does it Help? *Sports Medicine*, 36(9), 781-796.
- Bell, A. T., & Horton, P. G. (1987). The uses and abuse of hydrotherapy in athletics: a review. *Athletic Training*, 22(2), 115-119.
- Bielik, V. (2010). Effect of different recovery modalities on anaerobic power in off-road cyclist. *Biology of Sport*, 27(1), 59-63.
- Bigland-Ritchie, B., Johansson, R., Lippold, O. C., Smith, S., & Woods, J. J. (1983). Changes in motoneurone firing rates during sustained maximal voluntary contractions. *J Physiol* 340, 335-346.
- Bigland-Ritchie, B., Zijdewind, I., & Thomas, C. K. (2000). Muscle fatigue induced by stimulation with and without doublets. *Muscle Nerve*, 23, 1348-1355.
- Bleakley, C. M., & Davison, G. W. (2010). What is the biochemical and physiological rationale for using cold-water immersion in sports recovery? A systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 44, 179-187.
- Borg, E., & Kaijser, L. (2006). A comparison between three rating scales for perceived exertion and two different work tests. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 16, 57-69.
- Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales*. Champaign, IL.: Human Kinetics.
- Bouchard, C., Malina, R. M., & Pérusse, L. (1997). *Genetics of Fitness and Physical Performance*. Champaign: Human Kinetics.
- Brooks, G. A. (2000). Intra- and extra-cellular lactate shuttles. *Medicine & science in sport & exercise*, 32(4), 790-799.

- Brown, L. E. (2000). *Isokinetics in human performance*. Champaign, IL.: Human Kinetics.
- Bunc, V. (1995). Pojetí tělesné zdatnosti a jejích složek. *Těl. Vých. Sport Mlád.*, 5, 6-8.
- Burke, D. G., MacNeil, S. A., Holt, L. E., MacKinnon, N. C., & Rasmussen, R. L. (2003). The effect of hot or cold water immersion on isometric strength training. *J Strength Cond Res.*, 14(1), 23-25.
- Cairns, S. P. (2006). Lactic Acid and Exercise Performance. *Sports Medicine*, 36(4), 279-291.
- Capko, J. (1998). *Základy fyziatrické léčby*. Praha: Grada.
- Coffey, V., Leveritt, M., & Gill, N. (2004). Effect of recovery modality on 4-hour repeated treadmill running performance and changes in physiological variables. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 7(1), 1-10.
- Cochrane, D., J. (2004). Alternating hot and cold water immersion for athlete recovery: a review. *Physical Therapy in Sport*, 5, 26-32.
- Cote, D. J., Prentice, W. E., Hooker, D. N., & Shields, E. W. (1988). Comparison of three treatment procedures for minimizing ankle sprain swelling. *Phys Ther.*, 68(7), 1072-1076.
- Daďová, K., Radvanský, J., Matouš, M., & Šulc, J. (2006). Neuroticism affects Rating of Perceived Exertion in cardiac patients during exercise test on cycle ergometer. *Acta Universitatis Carolinae Kinanthropologica*, 42(1), 29-39.
- Dodd, S. L., Powers, S. K., Callender, T., & Brooks, E. (1984). Blood lactate disappearance at various intensities of recovery exercise. *Journal of Appl Physiol*, 57, 1462-1465.
- Dogué, B., Smolander, J., Westerlundt, T. et al. (2005). Acute and long-term effects of winter swimming nad whole-body cryotherapy on plasma antioxidative capacity in healthy women *Scand J clin lab invest*, 65, 395-402.
- Donatelli, R., Ellenbecker, T. S., Ekedahl, S. R., Wilkes, J. S., Kocher, K., & Adam, J. (2000). Assessment of shoulder strength in professional baseball pitchers *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 30(9), 544-551
- Dovalil, J., Choutka, M., Svoboda, B., Hošek, V., Perič, T., Potměšil, J., et al. (2002). *Výkon a trénink ve sportu*. Praha: Olympia.
- Draper, D. O., Bird, E. L., Coleman, I., & Hodgson, C. (2006). Effects of active recovery on lactate concentration, heart rate and RPE in climbing. *Journal of Sports Science and Medicine*, 5, 97-105.
- Draper, N., Bird, E. L., Coleman, I., & Hodgson, C. (2006). Effects of active recovery on lactate concentration. heart rate and RPE in climbing. *Journal Of Sports Science and Medicine*, 5, 97-105.
- Dutka, T. L., Cole, L., & Lamb, G. D. (2005). Calcium phosphate precipitation in the sarcoplasmic reticulum reduces action potential-mediated Ca<sup>2+</sup> release in mammalian skeletal muscle. *Am J Physiol Cell Physiol Rev*, 289, 1502-1512.
- Dutka, T. L., & Lamb, G. D. (2000). Effect of lactate on depolarization induced Ca<sup>2+</sup> release in mechanically skinned skeletal muscle fibers. *Am J Physiol*, 278, 517-525.
- Dylevský, I., Druga, R., & Mrázková, O. (2000). *Funkční anatomie člověka*. Praha: Grada Publishing.
- Dyrlund, A. K., & Wininger, S. R. (2008). The effects of music preference and exercise intensity on psychological variables. *Journal of Music Therapy*, 45(2), 114-134.
- Eglin, C. M., & Tipton, M. J. (2005). Repeated cold showers as a method of habituating humans to the initial responses to cold water immersion. *Eur J Appl Physiol*, 93, 624-629.

- Enwemeka, C. S., Allen, C., Avila, P., Bina, J., Konrade, J., & Munns, S. (2002). Soft tissue thermodynamics before, during, and after cold pack therapy. *Medicine & science in sport & exercise*, 34(1), 45-50.
- Eston, R., & Peters, D. (1999). Effects of cold water immersion on the symptoms of exercise-induced muscle damage. *Journal of sports science*, 17, 231-238.
- Eston, R. G., & Evans, H. J. L. (2009). The validity of submaximal ratings of perceived exertion to predict one repetition maximum. *Journal Of Sports Science and Medicine*, 8, 567-573.
- Favero, T. G., Zable, A. C., & Bowman, M. B. et al. (1995). Metabolic end products inhibit sarkoplasmatic retikulum  $Ca^{2+}$  release and  $H^+$  binding. *J Appl Physiol* 78, 1665-1672.
- Favero, T. G., Zable, A. C., Colter, D., & Abramson, J. J. (1997). Lactate inhibits  $Ca^{2+}$ -activated  $Ca^{2+}$ -channel activity from skeletal muscle sarcoplasmic reticulum. *Journal of Applied Physiology*, 82, 447-452.
- Fleck, S. J., & Kraemer, W. J. (1987). *Designing resistance training programs*. Champaigns: Human Kinetics.
- Gieremek, K. (1990). Effects of underwater massage on responsiveness of the motor neural system. *Biology of Sport*, 1, 53-63.
- Gissel, H., & Clausen, T. (1999). Excitation induced  $Ca^{2+}$  uptake in rat skeletal muscle. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 276, 331-339.
- Goode, R. C., Duffin, J., & Miller, R. et al. (1975). Sudden water immersion. *Resp Physiol*(23), 301-310.
- Greig, M., & Siegler, J. C. (2009). Soccer-Specific Fatigue and Eccentric Hamstrings Muscle Strength. *Journal of Athletic Training*, 44(2), 180-184.
- Hamlin, J. M. (2007). The effect of contrast temperature water therapy on repeated sprint performance. *Journal of Science and Medicine in Sport* 10, 398-402.
- Han, J. W., Thieleczek, R., Varsanyi, M., & Heilmeyer, L. M. G. (1992). Compartmentalized ATP synthesis in skeletal muscle triads. *Biochemistry*, 31, 377-384.
- Hargreaves, M., & Spriet, L. (2006). *Exercise metabolism* (2nd ed. ed.). Champaign, IL.: Human Kinetics.
- Havlíčková, L., Bartůňková, S., Dlouhá, R., Melichna, J., Šrámek, P., & Vránová, J. (1999). *Fyziologie tělesné zátěže*. Praha: Karolinum.
- Helander, I., Westerblad, H., & Katz, A. (2002). Effects of glucose on contractile function,  $[Ca^{2+}]_i$  and glycogen in isolated mouse skeletal muscle *Am J Physiol Cell Physiol Rev*, 282, 1306-1312.
- Hermanussen, M., Jensen, F., & Hirsh, N. e. a. (1995). Acute and chronic effects of winter swimming on LH, FSH, prolactin, growth hormone, TSH, cortisol, serum glucose and insulin. *Arctic Med Res*, 54, 45-51.
- Heyman, E., De Geus, B., & Mertens, I. e. a. (2009). Effects of Four Recovery Methods on Repeated Maximal Rock Climbing Performance. *Medicine and Science in Sports and Exersice*, 41(6), 1303-1310.
- Heyward, V. H. (2010). *Advanced fitness assessment and exercise prescription*. Champaign, IL.: Human Kinetics.
- Higgins, D., & Kaminski, T. W. (1998). Contrast therapy does not cause fluctuations in human gastrocnemius intramuscular temperature. *Journal of Athletic Training*, 33(4), 336-340.
- Hošek, V. (2003). *Psychologie odolnosti* (2. vyd. ed.). Praha: Karolinum.

- Huttunen, P., Rintamaki, H., & Hirvonen, J. (2001). Effect of regular winter swimming on the activity of the sympathoadrenal system before and after a single cold water immersion. *International J Circumpolar Health*, 60, 400-406.
- Chin, E. R., & Allen, D. G. (1997). Effects of reduced muscle glycogen concentration on force, Ca<sup>2+</sup> release and contractile protein function in intact mouse skeletal muscle. *J Physiol*, 498, 17-29.
- Choi, D., Cole, K. J., Goodpaster, B. H., Fink, W. J., & Costill, D. L. (1994). Effect of passive and active recovery on the resynthesis of muscle glycogen. *Medicine & science in sport & exercise*, 26(8), 992-996.
- Ingram, J., Dawson, B., Goodman, C., Wallman, K., & Beilby, J. (2009). Effect of water immersion methods on post-exercise recovery from simulated team sport exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12, 417-421.
- Korge, P., & Campbell, K. B. (1995). The importance of ATPase microenvironment in muscle fatigue: a hypothesis. *Int J Sports Med*, 16, 172-179.
- Kraemer, W. J., & Hakkinen, K. (2002). *Strength Training for Sport*. Oxford: Malden, MA: Blackwell Science.
- Kraemer, W. J., & Hakkinen, K. (2009). *Strength Training for Sport*. Oxford: Blackwell Science.
- MacIntosh, B. R., Gardiner, P. F., & McComas, A. J. (2006). *Skeletal muscle: form and function*. Champaign, IL.: Human Kinetics.
- Malkinson, T. J., Martin, S., & Simper, P. (1981). Expired air volumes of males and females during cold water immersion. *Can. J. Physiol. Pharmacol.*, 59, 843-846.
- Malkinson, T. J., Martin, S., & Simper, P. et al. (1981). Expired air volumes of males and females during cold water immersion. *Can. J. Physiol Pharmacol*, 59, 843-846.
- Mantoni, T., Belhage, B., & Pedersen, L. M. et al. (2007). Reduced cerebral perfusion on sudden immersion in ice water: a possible cause of drowning. *Aviat Space Environ Med*, 78, 374-376.
- Marieb, E. N. (2006). *Essentials of Human Anatomy and Physiology* (8th ed.). San Francisco: Pearson Education.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2001). *Exercise physiology: Energy, nutrition, and human performance* (5th ed.). USA: Lippincot Williams and Wilkins
- Meyer, R. A., Adams, G. R., & Fisher, M. J. (1991). Effect of decreases pH on force and phosphocreatine in mammalian skeletal muscle. *Can. J. Physiol Pharmacol*, 69, 305-310.
- Mocková, K., & Radvanský, J. (2003). Rating of perceived exertion, physiological parameters and extraversion in patients with beta-blockers. *European Bulletin of Adapted Physical Activity (online)*, 2(1).
- Myrer, J. W., Draper, D. O., & Durrant, E. (1994). Contrast therapy and intramuscular temperature in the human leg. *J Athl Train* 29(4), 318-324.
- Myrer, J. W., Meason, G., Durrant, E., & Fellingham, G. W. (1997). Cold-and hot-pack contrast therapy: subcutaneous and intramuscular temperature change. *Journal of Athletic Training*, 32(3), 238-241.
- Nielsen, O. B., MacDonald, W., Stephenson, D. G., & Clausen, T. (2006). Distribution of Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> pumps in skeletal muscle and its significance for maintenance of T-tubular K<sup>+</sup> homeostasis. *Proc Physiol Soc*, 4, 4.
- Parouty, J., Al Haddad, H., Quod, M., Lepretre, P. M., Ahmaidi, S., & Buchheit, M. (2010). Effect of cold water immersion on 100-m sprint performance in well-trained swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, 109, 483-490.



- Peiffer, J. J., Abbiss, C. R., Watson, G., Nosaka, K., & Laursen, P. B. (2010). Effect of cold water immersion on repeat 1-km cycling performance in the heat. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *13*, 112-116.
- Pincivero, D. M., & Campy, R. M. (2004). The effects of rest interval length and training on quadriceps femoris muscle. Part I: Knee extensor torque and muscle fatigue. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *44*(2), 111-118.
- Pincivero, D. M., Lephard, S. M., & Karunakara, R. G. (1997). Effects of rest interval on isokinetic strength and functional performance after short term high intensity training. *British Journal of Sports Medicine*, *31*, 229-234.
- Place, N., Maffiuletti, N. A., Martin, A., & Lepers, R. (2007). Assessment of the reliability of central and peripheral fatigue after sustained maximal voluntary contraction of the quadriceps muscle. *Muscle Nerve*, *35*, 486-495.
- Place, N., Yamada, T., Bruton, J. D., & Westerblad, H. (2010). Muscle fatigue: from observations in humans to underlying mechanisms studied in intact single muscle fibres. *Eur J Appl Physiol*, *110*, 1-15.
- Placheta et al. (2005). *Praktická cvičení z klinické fyziologie*. Brno: MU.
- Seliger, V. (1974). *Fyziologie tělesných cvičení*. Praha: SPN.
- Schurman, C., & Schurman, D. (2009). *The Outdoor Athlete*. Champaign, IL.: Human Kinetics.
- Sieck, G. C., & Prakash, Y. S. (1997). Morphological adaptations of neuromuscular junctions depend on fiber type. *Canadian Journal of Applied Physiology*, *22*(3), 197-230.
- Siems, W. G., Brenke, R., & Sommerburg, O. et al. (1999). Improve antioxidative protection in winter swimmers. *QJM*, *92*, 193-198.
- Siems, W. G., VanKuijk, F. J., & Maass, R. et al. (1994). Uric acid and glutathione levels during short-term whole body cold exposure. *Free Radic Biol Med*, *16*, 299-305.
- Signorile, J. F., Ingalls, C., & Tremblay, L. (1993). The effects of active and passive recovery on short-term, high intensity power output. *Canadian Journal of Applied Physiology*, *18*(1), 31-42.
- Slepička, P., Hošek, V., & Hátlová, B. (2009). *Psychologie sportu* (Vyd. 2. ed.). Praha: Karolinum.
- Sramek, P., Simeckova, M., & Janský, L. et al. (2000). Human physiological responses to immersion into water of different temperatures. *Eur J Appl Physiol* *81*, 436-442.
- Staron, R. S. (1997). Human skeletal muscle fiber types: Delineation, Development and Distribution. *Canadian Journal of Applied Physiology*, *22*(4), 307-327.
- Strejcová, B., Baláš, J., & Suss, V. (2010). Reliabilita testování silových schopností na izokinetickém a izometrickém dynamometru. *Česká kinantropologie*, *14*(3), 94-100.
- Thomas, J. R., & Nelson, J. K. (1996). *Research Methods in Physical Activity* (3th edition ed.). Champaign: Human Kinetics.
- Thornley, L. J., Maxwell, N. S., & Cheung, S. S. (2003). Local tissue temperature effects on peak torque and muscular endurance during isometric knee extension. *Eur J Appl Physiol*, *90*, 588-594.
- Tipton, M. J., Golden, F. S., & Higenbottam, C. et al. (1998). Temperature dependence of habituation of the initial responses to cold-water immersion. *European journal of applied physiology Occup Physiol*, *1998*, 253-257.

- Tipton, M. J., Mekjavic, I. B., & Eglin, C. M. (2000). Permanence of the habituation of the initial responses to cold water immersion in humans. *Eur J Appl Physiol*, 83, 17-21.
- Tipton, M. J., Stubbs, D. A., & Elliott, D. H. (1990). The effect of clothing on the initial responses to cold water immersion. *Eur J Appl Physiol*, 78, 89-95.
- Trinh, H. H., & Lamb, G. D. (2006). Matching of sarcoplasmic reticulum and contractile properties in rat fast- and slow-twitch muscle fibres. *Clin Exp Pharmacol Physiol*, 33, 591-600.
- Trochim, W., K., M. (2001). *The Research Methods Knowledge Base*. Cincinnati: Atomic Dog Publishing.
- Trojan, S. a. k. (1999). *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada Publishing.
- Vaile, J., Gill, N., & Blazevich, A. J. (2007). The effect of contrast therapy on symptoms of delayed onset muscle soreness. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(3), 697-702.
- Vaile, J., Halson, S., Gill, N., & Dawson, B. (2008). Effect of hydrotherapy on recovery from fatigue. *Int J Sports Med*, 29(7), 539-544.
- Van Praagh, E., & Doré, E. (2002). Short-term muscle power during growth and maturation. *Sports Medicine*, 32(11), 701-728.
- Vanderthommen, M., Makrof, S., & Demoulin, C. (2010). Comparison of active and electrostimulated recovery strategies after fatiguing exercise. *Journal of Science and Medicine*, 9, 164-169.
- Verducci, F. M. (2000). Interval Cryotherapy Decreases Fatigue During Repeated Weight Lifting. *Journal of Athletic Training*, 35(4), 422-426.
- Verducci, F. M. (2001). Interval Cryotherapy and Fatigue in University Baseball Pitchers. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 72(3), 280-287.
- Viitasalo, J. T., Niemela, K., & Kaappola, R. et al. (1995). Warm underwater water-jet massage improves recovery from intense physical exercise. *Eur J Appl Physiol*, 71, 431-438.
- Watkins, J. (1999). *Structure and function of the musculoskeletal system*. Champaign, IL.: Human Kinetics.
- Watts, P. B., Daggett, M., Gallagher, B., & Wilkins, B. (2000). Metabolic Response During Sport Rock Climbing and the Effects of Active Versus Passive Recovery. *International Journal of Sports Medicine*, 21, 185-190.
- Westerblad, H., & Allen, D. G. (1992). Changes of intracellular pH due to repetitive stimulation of single fibers from mouse skeletal muscle. *Journal of Physiology*, 449, 49-71.
- Westerblad, H., Bruton, J. D., Allen, D. G., & Lannergren, J. (2000). Functional significance of Ca<sup>2+</sup> in long-lasting fatigue of skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol*, 83, 166-174.
- Wilcock, I. M., Cronin, J. B., & Hing, W. A. (2006a). Water Immersion: Does It Enhance Recovery From Exercise? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1, 195-206.
- Wilcock, I. M., Cronin, J. B., & Hing, W. A. (2006b). Physiological response to water immersion - A method for sport recovery? *Sports Medicine*, 36(9), 747-765.
- Wilmore, H. J., & Costill, L. D. (1999). *Physiology of Sport Exercise* (2nd ed.). Champaign, IL.: Human Kinetics.
- Wilmore, J. H., Costill, D. L., & Kenney, W. L. (2008). *Physiology of sport and exercise*. Champaign, IL.: Human Kinetics.

- Wünsch, Kripner, & Kofránek. (2004). Mechanické vlastnosti kosterního svalu. Retrieved 23.6., 2011, from [http://patf-biokyb.lf1.cuni.cz/projects/sval/help\\_sval11\\_12cw.pdf](http://patf-biokyb.lf1.cuni.cz/projects/sval/help_sval11_12cw.pdf)
- Zatsiorsky, V. M., & Kraemer, W. J. (2006). *Science and practice of strength training*. Champaign, IL.: Human Kinetics.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Struktura příčně pruhovaného svalstva (Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003) .....	13
Obrázek 2: Část tenkého (aktinového) filamenta. Schematický obrázek naznačuje umístění regulačních bílkovin-tropomyozinu a tři podjednotek troponinu (Tn-C, Tn-T, Tn-I) na dvoušroubovici aktinu (Wünsch, Kripner, & Kofránek, 2004) .....	14
Obrázek 3: Umístění titunu a nebulinu v sarkomeře u příčně pruhovaného svalstva (Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003) .....	19
Obrázek 4: Gordonova křivka, vztah mezi maximem izometrické síly a délkou sarkomery (Wünsch, Kripner, & Kofránek, 2004) .....	34

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Strukturální a funkční charakteristika svalových vláken (J. H. Wilmore, Costill, & Kenney, 2008) .....	20
Tabulka 2: Charakteristika pomalých a rychlých svalových vláken podle Watkinse (1999) .....	22
Tabulka 3: Procentuální zastoupení svalových vláken typu I a typu II u vybraných svalových skupin v závislosti na pohlaví sportovců (J. H. Wilmore, Costill, & Kenney, 2008) .....	24
Tabulka 4: Zastoupení jednotlivých energetických krytí zjišťované na bicyklovém ergometru v závislosti na délce cvičení (Baechle & Earle, 2008) .....	28
Tabulka 5: Velikost nitrosvalového pH v závislosti na intenzitě a trvání cvičení (Cairns, 2006) .....	29
Tabulka 6: Procesy spojené se snížením pH ve svalovém vlákně (Cairns, 2006) .....	30
Tabulka 7: Výhody a nevýhody různých druhů přístupu. Upraveno podle Allena, Lamba a Westerblada (2008) .....	40
Tabulka 8: Limitující faktory přeměny látek a energií vzhledem k intenzitě cvičení, 1-nejnižší omezující faktor, 5-nejvyšší limitní faktor (Baechle & Earle, 2008) .....	41
Tabulka 9: Souhrn protokolů aplikace studené vody (Bleakley & Davison, 2010) .....	53
Tabulka 10: Hodnoty vnitrotřídňového korelačního koeficientu (ICC) jednotlivých charakteristik izokinetické síly v kolenním kloubu při úhlových rychlostech $45^{\circ} \cdot s^{-1}$ a $150^{\circ} \cdot s^{-1}$ při extenzi a flexi .....	62
Tabulka 12: Schéma postupu měření opakovaného krátkodobého výkonu, kde LED-ledování, PAS-pasivní zotavení, MMS-maximální moment síly, CP-celková práce, PV-průměrný výkon. ....	63
Tabulka 13: Schéma postupu měření opakovaného střednědobého výkonu, kde AKT-aktivní zotavení, SV-studená voda, PAS-pasivní zotavení, MMS-maximální moment síly, CP-celková práce, PV-průměrný výkon. ....	64

Tabulka 13: Procentuální (%) změny (↓pokles) maximálního momentu síly, celkové práce a průměrného výkonu při opakovaném měření krátkodobého svalového výkonu po pasivním zotavení (PAS) a po ledování (LED) .....	69
Tabulka 14: Subjektivně vnímaná námaha (RPE) při opakovaném měření krátkodobého svalového výkonu u dvou druhů zotavení (PAS-pasivní zotavení, LED-ledování) .....	74
Tabulka 15: Procentuální (%) změny (↓pokles, ↑nárůst) maximálního momentu síly, celkové práce a průměrného výkonu při opakovaném měření střednědobého svalového výkonu po pasivním zotavení (PAS), aktivním zotavení (AKT) a studené vodě (SV) .....	75
Tabulka 16: Subjektivně vnímaná námaha (RPE) při opakovaném měření střednědobého svalového výkonu u tří druhů zotavení (PAS-pasivní zotavení, AKT-aktivní zotavení, SV-studená voda) .....	81

## SEZNAM SCHÉMAT

Schéma 1: Rozdělení svalové činnosti podle charakteristiky vyvinuté síly a velikosti odporu (Kraemer & Hakkinen, 2009).....	33
Schéma 2: Konkretizace vstupních, výstupních proměnných a uvažované kovariační proměnné, které by mohly mít vliv na výsledky .....	64

## **9 SEZNAM PŘÍLOH**

- 1. SOUHLAS ETICKÉ KOMISE**
- 2. VZOR INFORMOVANÉHO SOUHLASU**
- 3. POUŽITÁ BORGOVA ŠKÁLA**
- 4. ILUSTRAČNÍ FOTO MĚŘENÍ SVALOVÉHO VÝKONU NA  
IZOKINETICKÉM DYNAMOMETRU A APLIKACE AKTIVNÍHO  
ZOTAVENÍ A STUDENÉ VODY**

## PŘÍLOHA 1: Souhlas etické komise



UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE  
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU  
Josef Martího 31, 162 52 Praha 6-Vešleslavín  
tel.: 220 171 111  
<http://www.ftvs.cuni.cz/>

### Žádost o vyjádření etické komise UK FTVS

k projektu výzkumné, doktorské práce, zahrnující lidské účastníky

**Název:**

Vliv aktivního odpočinku a hydroterapie na udržení opakovaného krátkodobého maximálního a střednědobého submaximálního svalového výkonu

**Forma projektu:** výzkum základní, doktorská práce

**Autor (hlavní řešitel):** Mgr. Barbora Strejcová  
**spoluřešitelé:** Mgr. Jiří Baláš Ph.D.

**Školitel (v případě studentské práce):** Doc. PhDr. Vladimír Süß Ph.D.

**Popis projektu (max. 10 řádek)**

Cílem práce je porovnat efekt 3 různých druhů odpočinku (aktivní a pasivní odpočinek, hydroterapie ve studené lázni) po maximálním a submaximálním opakovaném výkonu ve flexi a extenzi v kolenním kloubu na izokinetickém dynamometru.

**Zajištění bezpečnosti pro posouzení odborníky:**

Žádné invazivní metodiky nebudou použity

**Etické aspekty výzkumu**

Výsledky ani osobní data nebudou zneužity

**Informovaný souhlas (přiložen)**

V Praze dne 8. 4. 2011

Podpis autora: *Strejcová*

### Vyjádření etické komise UK FTVS

**Složení komise:** Doc. MUDr. Staša Bartůňková, CSc.  
Prof. Ing. Václav Bunc, CSc.  
Prof. PhDr. Pavel Slepíčka, DrSc.  
Doc. MUDr. Jan Heller, CSc.

Projekt práce byl schválen Etickou komisí UK FTVS pod jednacím číslem: ..... 0113/2011  
dne: ..... 8. 4. 2011

Etická komise UK FTVS zhodnotila předložený projekt a neshledala žádné rozpory s platnými zásadami, předpisy a mezinárodními směnicemi pro provádění biomedicínského výzkumu, zahrnujícího lidské účastníky.

Řešitel projektu splnil podmínky nutné k získání souhlasu etické komise.

razítko školy

UNIVERZITA KARLOVA v Praze  
Fakulta tělesné výchovy a sportu  
Josef Martího 31, 162 52, Praha 6

1

*Smolínková*  
podpis předsedy EK

## PŘÍLOHA 2:

### Informovaný souhlas s účastí na výzkumu koordinovaném FTVS UK

Popis výzkumu:

**Název: Vliv aktivního odpočinku a hydroterapie na udržení opakovaného krátkodobého maximálního a střednědobého submaximálního svalového výkonu**

Ve výzkumu nebudou použity žádné invazivní metodiky, tento typ výzkumu neobsahuje zvláštní etické aspekty.

Bude se jednat o experimentální studii, která se skládá ze dvou hlavních částí:

#### Realizace výzkumu

Pro objasnění vlivu tří druhů zotavení na odstranění lokální únavy budeme měřit opakovaný maximální výkon na izokinetickém dynamometru pro případ flexe a extenze v kolenním kloubu. Může se objevit krátkodobá bolest namáhaných svalů. Pro minimalizaci výskytu úrazu bude probíhat rozcvičení před měřením 15 min podle standardizovaného protokolu. Před vlastním měřením izokinetické síly proběhne zacvičení a zahřátí při stejné úhlové rychlosti jako samotný test. Pro maximální test o 45°/s se bude jednat o 2-3 opakování a pro submaximální test 180°/s bude aplikováno 5 opakování.

#### ***Měření maximálního výkonu na izokinetickém dynamometru při extenzi a flexi v kolenním kloubu***

Pro zjištění maximálního výkonu byla nastavena úhlová rychlost na 45°/s (5x5 opakování). Vždy bude měřena pravá končetina jako první a následně třikrát za sebou levá končetina.

#### ***Metoda submaximálního testu na izokinetickém dynamometru při extenzi a flexi v kolenním kloubu***

Pro určení únavy budeme aplikovat submaximální protokoly měření průměrného výkonu o úhlové rychlosti 150°/s (50 opakování) pro koncentrickou svalovou činnost při extenzi a flexi v kolenním kloubu. Tento protokol na submaximální výkon bude aplikován třikrát v jeden den. Mezi měřeními bude aplikován pasivní odpočinek u jedné skupiny, aktivní odpočinek u druhé skupiny a hydroterapie u třetí skupiny. V dalším měření se skupiny vymění. Vždy bude měřena nejprve pravá a následně levá končetina.

#### ***Metody odpočinku***

***Aplikace studené vody a pasivního odpočinku po maximálním výkonu***

U opakovaného maximálního výkonu se budeme zabývat měřením, kdy testovaný jeden den měření absolvuje pasivní odpočinek mezi výkony a druhý den ponor do studené vody.

***Aplikace aktivního odpočinku, studené vody a pasivního odpočinku po submaximálním výkonu***

Jako aktivní odpočinek jsme zařadili chůzi na běžecím trenažeru 10 min. Rychlost bude nastavena individuálně. Bude se pohybovat na 60-65 % maximální srdeční frekvence testovaného. Určení maximální tepové frekvence bude stanoveno na běhacím ergometru. Aplikace studené vody bude aplikována střídavě s pasivním odpočinkem. Ponor do studené vody (12°C) po kyčle bude trvat 2,5 min (3 opak.) a mezi ponorem bude 2min pauza při pokojové teplotě (22°C). Pasivní odpočinek bude v sedě při pokojové teplotě a doba trvání 10 min. Časový limit na přípravu testovaného k opakovanému měření a přechod byl stanoven na 5 min.

Pan(i) ....., níže podepsaný(á), narozen(á).....po přečtení popisu experimentu souhlasí s účastí na výzkumném projektu „**Vliv aktivního odpočinku a hydroterapie na udržení opakovaného krátkodobého maximálního a střednědobého submaximálního svalového výkonu**“, prováděném v rámci FTVS UK. V jeho průběhu může kdykoli opustit tento projekt.

Svým podpisem stvrzuji, že jsem byl(a) informován(a) o způsobu a postupu měření (viz. výše), včetně možnosti následného anonymního použití dat.

Testující: Mgr. Barbora Strejcová

.....

Testovaný:

.....

V Praze dne .....

PŘÍLOHA 3: Borgova škála vnímané námahy (převzato z Plachety et al., 2005)

Číselné hodnocení	Slovní hodnocení	Číselné hodnocení	Slovní hodnocení
6		14	
7	Velmi, velmi lehká	15	Namáhavá
8		16	
9	Velmi lehká	17	Velmi namáhavá
10		18	
11	Lehká	19	Velmi, velmi namáhavá
12		20	
13	Poněkud namáhavá		



PŘÍLOHA 4: Ilustrační foto měření izokinetické síly, hydroterapie a aktivního zotavení  
(fotografie autorky, 2011)

