

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU
KATEDRA FYZIOTERAPIE

**Měření EMG aktivity svalové tkáně po aplikaci
celotělové chladové terapie (-130°C)**

Measurement of the muscle tissue EMG activity after whole body
cryotherapy (-130°C)

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:

MuDr. David Pánek, Ph.D.

Zpracovala:

Bc. Helena Krumlová

Praha, březen 2010

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou práci zpracovala samostatně a použila jen uvedené prameny a literaturu. Současně dávám svolení k tomu, aby tato diplomová práce byla používána ke studijním účelům.

V Praze dne 20.března 2010

Bc. Helena Krumlová

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala mému školiteli panu MUDr. Davidu Pánkovi, za odborné vedení práce, konzultace a cenné rady, které mi byly při psaní závěrečné magisterské práce velkým přínosem.

Dále děkuji Kryocentru v Praze Modřanech, které nám poskytlo kryokomoru a prostor pro realizaci této studie. Rovněž děkuji probandům, kteří dali souhlas k provedení experimentu na jejich vlastním organismu.

Svoluji k zapůjčení své diplomové práce ke studijním účelům.

Prosím, aby byla vedena přesná evidence vypůjčovatelů, kteří musejí pramen převzaté literatury řádně citovat.

Jméno a příjmení: Číslo obč. průkazu: Datum vypůjčení: Poznámka:

Souhrn:

Název: Měření EMG aktivity svalové tkáně po aplikaci celotělové chladové terapie (- 130°C)

Cíl práce: Tato práce sleduje účinek celotělové chladové terapie na svalovou tkáň. Cílem této studie bylo sledování elektrické aktivity svalové tkáně po aplikaci celotělové chladové terapie, pomocí povrchové EMG.

Metoda: Svalová aktivita byla snímána z m.biceps brachii pomocí povrchové EMG. Na měření se účastnilo pět vrcholových sportovců ve věku 20-35 let. Pozornost byla zaměřena na detekci MVC (maximální volní kontrakce) před a po výstupu z chladové komory. Dále byl sledován nástup svalové únavy v průběhu izometrické kontrakce před a po aplikaci celotělové chladové terapie (CChT).

Výsledky: Z výsledků studie vyplývá, že pomocí povrchové elektromyografie lze detekovat změnu elektrické svalové aktivity po aplikaci celotělové chladové terapie. U čtyř z pěti měřených probandů došlo k oddálenému nástupu svalové únavy po aplikaci CChT. Dále došlo ke zvýšení MVC po aplikaci CChT u všech pěti měřených probandů.

Klíčová slova: celotělová chladová terapie, kryoterapie, povrchová elektromyografie, svalová únava, izometrická kontrakce svalu, maximální volní kontrakce svalu (MVC)

Summary:

**Measurement of the muscle tissue EMG activity after
whole body cryotherapy (-130°C)**

Goal : The goal of this study was monitoring electrical activity muscle tissue after whole body cryotherapy, by using surface EMG.

Methods: Muscle tissue activity was monitoring from m. biceps brachii by using surface electromyography. Five professional sportsmen, from 20 to 30 years old, was participating on measurements. The attention was to measure MVC (maximum voluntary contraction) before and after whole body cryotherapy. Further there was monitoring onset of muscle fatigue during isometric contraction, before and after whole – body cryotherapy.

Results: It is possible to monitor changes in electrical muscle activity after whole-body cryotherapy. We observed prolongation of muscle fatigue onset in four from five probands after whole-body cryotherapy and increased MVC after whole-body cryotherapy of all five probands.

Key words: whole-body cryotherapy, surface EMG, muscle fatigue, isometric muscle contraction, maximum voluntary contraction (MVC)

Osnova:

Souhrn	5
Summary	6
Úvod	9
1. Základní charakteristika celotělové chladové terapie	10
1.1. Kryoterapie v rehabilitační medicíně	10
10	
1.2. Historie kryoterapie	10
1.3. Kryokomora	11
1.4. Základní fáze kryoterapie	11
1.5. Absolutní indikace	12
1.6. Částečná kontraindikace	12
12	
1.7. Absolutní kontraindikace	12
2. Kůže jako orgán termoregulace	13
2.1. Kůže	13
2.1.1. Tepny kůže	13
2.1.2. Nervy kůže	14
2.2. Termocepce kůže	14
3. Termoregulace	16
3.1. Teplo	16
3.1.1. Produkce tepla v organismu	16
3.1.2. Transport tepla obecně	17
3.1.3. Transport tepla v lidském těle	18
3.2. Termoregulační vlastnosti organismu	18
3.2.1. Tělesná teplota	18
3.2.2. Regulace tělesné teploty	19

3.2.3.	Aference	19
3.2.4.	Termoregulační centrum	20
3.2.5.	Eference	21
3.2.6.	Centrální mechanismy termoregulace	21
3.3.	Vliv tonu Autonomního systému na transport tepla	22
4.	Účinky termoterapie obecně	24
4.1.	Účinky pozitivní termoterapie	24
4.2.	Účinky negativní termoterapie	25
5.	Účinky celotělové chladové terapie na organismus	28
5.1.	Neurofyziologie termoregulace v průběhu CChT	28
5.2.	Stresová reakce v průběhu CChT	29
5.3.	Reakce kardiovaskulárního systému na CChT	29
5.6.	Reakce nervo – svalového aparátu na CChT	30
6.	Sval a druhy svalové kontrakce	31
6.1.	Sval	31
9.2.	Princip svalové aktivity	31
9.3.	Elektrická aktivita svalu	32
6.4.	Druhy svalové kontrakce	32
6.5.	Svalová únava při izometrické kontrakci svalu	32
6.6.	Maximální volní kontrakce svalu	33
7.	Metodika	34
7.1.	Popis měření povrchové EMG	34
7.2.	Kryokomora	35
8.	Výsledky studie	36
8.1.	Vyhodnocení nástupu svalové únavy	36
8.2.	Vyhodnocení MVC	37
8.3.	Diskuze	38

9. Závěr	42
10. Citovaná literatura	43
11. Přílohy	48

Úvod

Téma své magisterské práce jsem si zvolila z důvodu dlouhodobé spolupráce s Kryocentrem v Praze Modřanech. Bylo mi zde mnohokrát umožněno vyzkoušet si účinky celotělové chladové terapie na mém vlastním organismu a nemohli mi ujít zkušenosti ostatních návštěvníků. Výzkumy zabývající se touto metodou přicházejí

převážně z Německých a Polských výzkumných institutů. V těchto zemích je tato metoda již řadu let hojně využívána jak k léčebným účelům, tak k regeneraci svalové tkáně ve vrcholovém sportu. V České republice se dosud mnoho vědeckých prací metodou celotělové chladové terapie nezabývá. Z důvodu nedostatečných vědecky podložených studií v této oblasti jsme se rozhodli pojednat o účincích celotělové chladové terapie na svalovou tkáň. Cílem této studie bylo sledování elektrické aktivity svalové tkáně po aplikaci celotělové chladové terapie, pomocí povrchové EMG. Pozornost byla zaměřena na detekci MVC (maximální volní kontrakce) před a po výstupu z chladové komory. Dále byl sledován nástup svalové únavy v průběhu izometrické kontrakce před a po aplikaci celotělové chladové terapie (CChT). Z velké části je tato práce věnována termoregulačním mechanismům organismu, z důvodu jejich významného zapojení do průběhu celotělové chladové terapie.

1. Základní charakteristika celotělové kryoterapie

1.1. Kryoterapie v rehabilitační medicíně:

Celotělová chladová terapie (CChT), nebo také kryoterapie je fyzikální, rehabilitační metoda, která využívá suchého chladného vzduchu o teplotě -130°C až -160°C ke krátkodobému, reflexnímu ochlazení celého těla. Kryoterapie z hlediska rehabilitační medicíny patří mezi negativní termoterapii, při níž na lidskou tkáň působí teplota nižší než -10°C (39). V dnešní době se využívají dva typy aplikace. Lokální (suchý vzduch,

kryosáčky), nebo celotělová chladová terapie aplikována v kryokomorách (polariích). Kryoterapie má především účinky analgetické, antiedematózní a protizánětlivé. Tyto efekty lokální kryoterapie jsou v medicíně již dlouho známy a v praxi se využívají. Princip celotělového ochlazování je u nás zatím stále nový a nabízí široké spektrum terapeutických účinků.

1.2. Historie kryoterapie

Blahodárný účinek chladu na organismus zpozorovali lidé již velmi dávno. Léčení prostřednictvím nízkých teplot používali již staří Egypťané (2500 před n. l.). Jejich analgetický účinek konstatoval také řecký lékař Hypokrates (5. století před n. l.), odkud pochází samotný název „Kryoterapie“ (kryo = chlad). V širším rozměru, se tato metoda rozvinula v průběhu napoleonských válek, kdy se velký počet těžkých zranění řešil amputacemi a na znecitlivění poškozených končetin sloužily obklady z ledu nebo sněhu. Počátky současné kryogeniky (konec 19. století) úzce souvisejí s technickým pokrokem, který umožnil zkapalňování a dlouhodobé uchovávání plynů, ale taky průmyslnou produkci vzniknutých chladících tekutin. V první polovině 20. století se rozvinula kryobiologie. Věda o buněčných změnách podmíněných extrémně nízkými teplotami a v návaznosti na ni, se zrodila koncepce kryoterapie, tedy impulsní stimulující povrchová aplikace teplot nižších jak - 100°C v krátkém časovém úseku (dvě až tři minuty). Její zavedení do lékařské praxe se připisuje Japoncovi Toshiro Yamauchimu, který se podílel i na zkonstruování první kryogenické komory na světě (1978). O zdokonalení technologie se v dalším období zasloužili především polští a němečtí odborníci.(25) Experimentální oddělení, které se specializuje v oblasti technologií, technické kryogeniky a medicíny, se nachází na „Institutu nízkých teplot Polské akademie věd.“ V naší republice jako první nabídli Celotělovou chladovou terapii klientům v rehabilitačním centru „Čeladná“, v regionu severní Moravy. Provoz zařízení dovezeného z Polska byl zahájen dne 1.8.2004.

1.3. Kryokomora:

Celotělová chladová terapie je aplikována v kryokomorách (polariích). Kryokomora neboli polarium, je zařízení určené na aplikaci kryoterapeutických kúr, pomocí krátkodobého působení nízkých teplot na celé tělo. Polarium tvoří dvě oddělené

místnosti. V předsíni je teplota minus 60-70°C, v hlavní terapeutické místnosti je běžná provozní teplota minus 120-130°C. Mediem, prostřednictvím kterého vzniká chlad, je tekutá směs oxidu a dusíku v poměru 21 : 79 %. (25) V předsíni polaria se klienti zdrží cca 30 sekund, poté přejdou do hlavní terapeutické místnosti, kde setrvají dvě až tři minuty.

1.4. Základní fáze kryoterapie

Celotělová chladová terapie (CChT) zahrnuje dvě základní fáze. Podstatou první fáze je pobyt v komoře s optimální teplotou minus 110-130°C po dobu 2-3 minuty. Návštěvníci jsou vybaveni čelenkou, rukavicemi, rouškou chránící ústa před silným mrazem a dřeváky. (obr.č.4) Podstata druhé, přibližně patnáctiminutové etapy spočívá ve fyzické zátěži a cvičeních. Příkladem je pohybová aktivita na stacionárních kolech, běžících pásech a jiných zařízeních.

1.5. Absolutní indikace kryoterapie

- chronická zánětlivá kloubní onemocnění(arthritis rheumatoides, M.Bechtěrev apod.)
- artrózy a polyartrózy
- vertebrogenní algické syndromy
- fibromyalgie, kolagenózy, vaskulitidy,
- následky profesoinálního poškození kloubního, vazivového a svalového aparátu,
- traumatické postoperační hematomy a otoky
- autoimunitní onemocnění a poruchy imunity
- sclerosis multiplex
- psoriasis vulgaris, neurodermitis
- onemocnění dýchacího aparátu
- celulitida
- psychická deprese (18)

1.6. Částečná kontraindikace kryoterapie

- akutní exacerbace chronické bronchitidy
- ataka astma bronchiale
- status astmatici
- srdeční arytmie a chlopenní vady
- ICHS
- věk nad 75 let
- hypotyreóza
- maligní onemocnění
- nádory mozku a mozkových plen
- raynaudův syndrom (18)

1.7. Absolutní kontraindikace kryoterapie

- akutní onemocnění srdce a oběhu (infarkt myokardu, instabilní angina pectoris, plicní embolie, myokarditidy) v posledních šesti měsících
- dekompenzovaná hypertenze (TK dlouhodobě nad 160/110)
- poruchy arteriálního prokrvení
- alergie na chlad
- tumorózní onemocnění s tvorbou kryoproteinů
- tromboflebitidy
- stavy po periferních emboliích
- terminální stadia onemocnění srdce plic a ledvin
- těžší anémie
- klaustrofobie (18)

2. Kůže jako orgán termoregulace:

2.1. Kůže :

Kůže (cutis) je rozsáhlý plošný orgán tvořící zevní povrch organismu a tím i bariéru organismu vůči okolí. Představuje účinnou ochranu vůči fyzikálním, chemickým a mikrobiologickým noxám z okolí. Uspořádáním svého cévního řečiště, svými žlázami a dále tím, že sama je špatný vodič tepla, představuje kůže termoregulační systém, který ovládá tepelné ztráty do okolí pomocí činnosti potních žláz a pomocí změn průtoku krve ve svém cévním řečišti. (11)

Epidermis - povrchová vrstva kůže tvořená epitelem ektodermového původu (vrstevnatý dlaždicový), obsahuje četné buňky (Keratinocyty, Melanocyty, Langerhansovy buňky, Merkelovy buňky) a deriváty epidermis (chlupy, kožní žlázy, nehty). (obr.1) (11)

Dermis – (corium-škára) je fibroelastické kolagenní vazivo se dvěma vrstvami:

- Stratum papillare – povrchová vrstva, která přiléhá k epidermis, proti které vybíhá ve vyvýšené papily
- Stratum reticulare – hlubší, hustší vrstva, která dává kůži mechanickou pevnost (obr.1). (11)

Vývojově pochází dermis z mezodermu. Ve škáře se nalézají vlasové folikuly a mazové a potní žlázy. Obsahuje hladké svalstvo mm.erectores pilorum, jejichž aktivitou se chlupy zdvihají a vzniká husí kůže. Vyskytuje se zde řada speciálních nervových zakončení různých typů, např. Meissnerova tělíska, Krauseova tělíska, Ruffiniho tělíska a Vater-paciniho tělíska. (obr.č.1) (11).

2.1.2. Tepny kůže

Jsou uloženy v dermis. Je zde rozprostřena povrchová a huboká síť tepen, které jsou propojeny spojovacími větvemi. Z povrchové sítě tepen stoupají do papil coria drobnější větévky a zásobují mikrocirkulační systém kůže. (11)

2.1.3. Nervy kůže

Zahrnují somatosenzitivní vlákna a vlákna visceromotorická – sympatická. Vzhledem k tomu, že v kůži není parasympatikus, je protichůdné působení sympatiku a parasympatiku nahrazeno aktivací a inhibicí sympatiku. (11)

Somatosenzitivní vlákna v kůži přijímají signály dotyku, bolesti, tepla a chladu. Dále jsou v kůži receptory zúčastněné na regulaci prokrvení kůže a na činnosti potních žláz. (11)

Volná nervová zakončení jsou rozvětvení dendritů buněk spinálních ganglií a do kůže jsou přivedena senzitivními větvemi periferních nervů. Volná nervová zakončení se nalézají v hlubších vrstvách epidermis. V dermis se tato vlákna spojují a vytvářejí subpapilární síť a pokračují jako senzitivní myelinizovaná vlákna svými periferními nervy. (11)

Visceromotorická vlákna kůže jsou vlákna sympatická, která končí na kožních žlázách a cévách. Do kůže přicházejí dvojí cestou: jednak cestou perivaskulárních pletení, jednak cestou rr.communicantes grisei a periferního nervu do dané oblasti. Jsou to vlákna, jimiž je ovlivněna činnost potních žláz a vazomotorika. Postgangliová vlákna sympatiku pro veškeré potní žlázy jsou cholinergní, zatímco postgangliová vazomotorická parasympatická vlákna jsou adrenergní. (11)

2.2. Termocepce kůže:

Termoreceptory kůže zprostředkují vnímání teplotních změn a také behaviorální a autonomní reakce, které se podílejí na regulaci tělesné teploty. Kožní termocepce zahrnuje dvě kvality: vnímání tepla a chladu. S tím souvisí existence vzájemně oddělených tepelných a chladových bodů, specifických tepelných vláken (nemyelinizovaných vláken typu C) a chladových receptorů (zakončení

myelinizovaných vláken typu A-delta). Reakční doba k vybavení pocitu chladu je kratší. U člověka leží chladové receptory v epidermis a těsně pod ní. Tepelné receptory leží v horní a střední škáře. Vzhledem k povrchnějšímu uložení chladových receptorů a jejich rychlejší vodivosti lze usuzovat, že člověk mnohem rychleji a intenzivněji reaguje na stimuly chladové, nežli na stimuly tepelné. (48)

Statické komponenty kožní termocepcce: dochází k nim při působení stálé teploty a při jejím pomalém vzestupu či poklesu. Projeví se tonickou vzruchovou aktivitou závisující na úrovni teploty. Receptory tepla reagují v rozmezí 30 až 48°C, chladové mezi 10 až -45°C. (48)

Při dynamických teplotních změnách fungují termoreceptory jako D-regulátory. Tzn., že reagují dynamicky na změnu teploty a rychle se adaptují. Záleží hlavně na velikosti a rychlosti vzestupu či poklesu teploty. Krátce po začátku podnětu se četnost AP prudce zvýší (u chladových při ochlazení, u receptorů tepla při zahřátí), nebo naopak sníží. V průběhu stimulace se adaptuje na novou úroveň teploty, které odpovídá jiná statická frekvence AP. (48)

Při chladové stimulaci kůže teplotou -130°C, dochází k prudkému nárůstu AP z periferních termoreceptorů. Vlákna A-delta dojde k rychlému přenosu chladového vjemu do zadních rohů míšních a odtud spinothalamickým traktem do hypotalamu. Po vyhodnocení chladového stimulu termoregulačním centrem v hypotalamu, jsou aktivovány mechanismy termoregulace o kterých pojednává další kapitola.

3. Termoregulace

3.1. Teplo:

Teplo je fyzikální – kinetická energie, která se může přeměňovat na jiné energie. Podle termodynamických zákonů vede každá z přeměn energie ke vzniku tepla. Při metabolických pochodech, při pohybu ve svalových buňkách vzniká přeměnou chemické a kinetické energie energie tepelná, která se krevním oběhem šíří po celém těle. Teplo vzniká zpracováním potravy. Hormonálními vlivy se zvyšuje intracelulárně bazální metabolismus, který vede k zvýšené tvorbě tepla. **Tělesná teplota je výslednicí rovnováhy mezi produkcí a výdejem tepla.** Termoregulací rozumíme reflexní mechanismy aktivované chladem nebo teplem, které působí lokálně na chování cév kůže a podkoží s centrálními mechanismy řízení (neuro-hormonálně-humorální řízení). (22)

3.1.1. Produkce tepla v organismu

- a) **Třesová termogeneze** – Chladový třes je u dospělých nejdůležitějším mechanismem pro dodatečnou tvorbu tepla. Primární motorická oblast pro třes se nachází v dorzomediální oblasti zadního hypotalamu, v blízkosti třetí mozkové komory. Tato area je normálně inhibována tepelnými signály z preoptické oblasti hypotalamu a excitována chladovými signály z kožních a míšních termoreceptorů. Toto centrum je aktivováno, když dojde ke snížení teploty tělesného jádra o zlomek stupně pod kritickou úroveň teploty. Termoregulační centrum je spojeno centrální třesovou drahou s motorickými centry kmene. Nejprve se zvyšuje tonus kosterních svalů a po dosažení kritické úrovně nastává svalový třes. (48)

- b) **Netřesová termogeneze** – Tento typ termogeneze se uplatňuje u většiny homoiotermních organismů vystavených chronickému chladu. Je řízen

humorálně a sympatikem. Je charakterizován zvýšením metabolické úrovně, která není důsledkem zvýšené svalové aktivity. Bezprostředně zvyšují buněčný metabolismus adrenalin a noradrenalin. Z endokrinních mechanismů se uplatňuje tyroxin. Jehož účinek je charakterizován pomalým nástupem a dlouhodobým efektem. (48)

3.1.2. Transport tepla obecně:

Teplo se přivádí nebo odvádí:

- **kondukcí** = vedením (pevné látky)
- **konvekcí** = prouděním (kapaliny, plyny)
- **radiací** = sáláním
- **evaporací** = pocením

Kondukce (vedení)

Předání tepla kontaktem a dotykem. Přenos tepla tímto způsobem má svůj význam v pozitivní termoterapii (u peloidů, parafinu) a při hydroterapii. Ztráta tepla v chladné vodě je až 200x vyšší oproti vzduchu o stejné teplotě vody a vzduchu. Astenici ztrácí při aktivním pohybu ve vodě mnohem více tepla než stačí svými svaly produkovat. Oblečení umožňuje výdej tepla jenom kondukcí, v tom spočívá jeho izolační schopnost. (22)

Konvekce (prouděním)

Prouděním krve je předáváno teplo z jadra do periferie. Proudění okolního média tj. vzduchu spočívá v ohřátí obalové vrstvy a vzniká přirozená (volná) konvekce kolem těla. Míra proudění je dána rozdílem teplot kůže a vzduchu, velikostí povrchu těla a rychlosti proudění. Při pokojové teplotě, v sedě, v klidu a oblečení ztrácíme až 25% tepla lidského těla. Při teplotě prostředí nad 30°C ztrácí konvekce obalové vrstvy klinický význam. (22)

Radiace (sálání)

Při teplotě prostředí 20 °C v klidu bez oděvu se ztrácí 50% - 60% tepla radiací. Se zvyšující se teplotou prostředí se mírní sálání a narůstá evaporace. V zimě s nepříkrytou hlavou „vyzáříme“ až 60% tělesného tepla hlavou. Stojící osoba se účastní radiace až

85% svého těla. Sedící osoba se účastní radiace až 70% povrchu těla. Schoulená osoba (dřep, klubičko vleže na boku) se účastní radiace 45-50% povrchu těla. (22)

Evaporace (sudomotorika) - odpařování, pocení

Perspiratio insensibilis (extraglandulární výdej vody kůží). Pocení chrání organismus před přehřátím zvláště při námaze a při vyšší teplotě okolního vzduchu než je teplota těla. Evaporace převládá nad radiací při tělesné práci. Výdej tepla evaporací je možný i při 100% vlhkosti vzduchu pokud je teplota kůže vyšší než teplota okolního vzduchu. (extrémy, experimenty). (22)

3.1.3. Transport tepla v lidském těle

Transport tepla v lidském těle se děje **převážně konvekcí** – prouděním krve. Při aplikaci tepelné energie zvenčí dochází proudící krví k přenosu tepelné energie do oblasti jádra. Při aplikaci chladu je tomu naopak. Vlastní klinický výsledek závisí na:

- aktuálním prokrvení kůže a podkoží
- na nastavení autonomního nervového systému – tonu sympatiku a parasimpatiku a vzájemné regulaci
- na endokrinní aktivitě
- na poměru mezi jádrem těla a slupkou

3.2. Termoregulační vlastnosti organismu

Lidské tělo z hlediska termoregulace se skládá:

- z **homiotermního** jádra (vnitřní orgány dutiny břišní, hrudní, lební) – celkem asi 65%objemu těla
- z povrchové izolační **poikilotermní** vrstvy rozličné šíře (kůže, podkoží, akrální části končetin) - má funkci izolátoru a současně tepelného nárazníku, je sídlem periferních termoreceptorů, zároveň je orgánem regulace a výdeje tepla. (39)

3.2.1. Tělesná teplota

Normální tělesná teplota u zdravého člověka kolísá v rozmezí 36,0-37,0°C. Teplota tělesného jádra kolísá mezi hodnotami 36,2-38,1°C. (22) Tělesnou teplotu mezi 37,0-37,9 °C označujeme jako subfebrilní, nad 38°C horečkou a rozmezí 40,0-41,0 hyperpyrexii. Teplotu pod 36,0°C jako subnormální. (48)

3.2.2. Regulace tělesné teploty:

- Periferně signalizací termoreceptorů, vzniká vazomotorická regulace (změnou průtoku krve), sudomotorická regulace (pocení), ventilační regulace (dýcháním).
- Centrálně na základě proudící krve do okolí nervových buněk thalamu a do termoregulačních center v hypotalamu. Zde dochází k integraci informací z periferie. Hypothalamická jádra mají funkci termostatu, který zajišťuje, aby teplota jádra měla hodnotu v určitém rozmezí. Toto rozmezí není konstantní, ale fyziologicky kolísá v určitých periodách, zřejmě v souvislosti s kolísáním hladin hormonů. (39).

3.2.3. Aference :

Periferní termoreceptory – kožní (chladové a tepelné)

- Krauseho tělíska – pro vnímání chladu, jejich počet v těle člověka je 250.tisíc.(22)
- Ruffiniho tělíska – pro vnímání tepla, počet v těle člověka je 30.tisíc (22)
- Volná nervová zakončení typu A-delta - tato tenká myelinizovaná vlákna mají více funkcí. Jsou zodpovědná za vedení chladových, tepelných ale i bolestivých vjemů. (48) Jejich počet se odhaduje na 1/3 všech receptorů.

Vnitřní termoreceptory tzv. teplotní neurony se nacházejí:

- 1) v preoptické oblasti hypotalamu - kde byl zjištěn velký počet na teplo citlivých neuronů
- 2) v dolní části mozkového kmene (mezencephalon a medulla oblongata) - kde se nachází menší množství neuronů s nízkou citlivostí na teplo

- 3) v páteřní míše - zde jsou neurony vysoce citlivé na teplotu
- 4) mimo CNS – na zadní stěně dutiny břišní a podél velkých cév (48)

3.2.4. Termoregulační centrum:

Termoregulační centrum se nachází v zadním hypotalamu v oblasti corpora mammillaria. Samo o sobě není citlivé na teplotu. Hodnotí však informace přicházející z preoptické oblasti hypotalamu, z periferie a hlubokých tělových struktur a vysílá odpovídající signály k nastavitelným článkům regulace. Všechny prvky účastníci se v hypotalamu regulace teploty jsou též označovány jako hypothalamický termostat. Když hypothalamický termostat detekuje, že vnitřní teplota je vyšší, nebo nižší než jmenovitá hodnota, aktivuje mechanismy snižující, nebo zvyšující tvorbu tepla. (48) Pro každou z hlavních odpovědí, regulujících teplotu existují prahové teploty. Pokud je dosaženo této teploty, je spuštěna odpověď. Práh 37°C je pro pocení a vazodilataci, 36,8°C pro vazokonstrikci, 36°C pro netřesovou termogenezi a 35,5°C pro třes. (17)

Funkční zapojení hypothalamických jader:

Hypothalamické spoje mají důležitou roli v rámci drah limbického systému a ovlivňování autonomního nervstva. Z hlediska termoregulace jsou podstatné tři funkční oblasti hypotalamu, které zodpovídají za regulaci tělesné teploty.

1. Periventrikulární oblast

Jádra hypothalamo-neurohypofyzárního systému (nucleus supraopticus, ncl. paraventricularis), sestupují ve společný **tractus hypothalamo-hypophysialis**, kterým procházejí hormony předního a zadního laloku hypofýzy, jakožto neurosekreční produkty buněk hypothalamických jader. Z této oblasti dochází k regulaci výdeje hypofyzárních hormonů a k regulaci tělesné teploty prostřednictvím metabolických a hormonálních reakcí. (11)

2. Mediální hypotalamus - zapojení do limbického systému

Hypotalamus se počítá k limbickému systému jako jedna z jeho podkorových složek. Prostřednictvím mediální oblasti hypotalamu jsou některé smyslové podněty (čichové, zrakové, tepelné) a emoční reakce limbického systému propojeny na reakce autonomního nervového systému. (11)

3. Zadní hypotalamus

Odtud vycházejí spoje do mozkového kmene. Jejich prostřednictvím hypotalamus řídí kardiovaskulární, respirační a termoregulační funkce.(11)

3.2.5. Eference:

Hypothalamus – sestupné dráhy z hypotalamu převádějí vliv hypothalamických jader (která byla předtím aktivována různými aferentními vjemy z limbických a dalších oblastí CNS) na visceromotorická i somatomotorická centra mozkového kmene a míchy, většinou prostřednictvím center retikulární formace (RF). Hypotalamus je nadřazeným článkem regulace autonomního nervového systému. Skrze hypotalamus je řízena doprovodná autonomní regulace k emočním projevům. (11)

Z hlediska termoregulace hypotalamus řídí:

- 1) Cortex – Volní reakcí je spuštěna aktivita kosterních svalů. Pohybem dochází k produkci tepla kosterními svaly. V klidovém stavu naopak k omezení produkce tepla.(22)
- 2) Gama systém – Hypertonie a mimovolní třesová reakce. Signály z primárního motorického centra pro třes aktivují gama systém a zvyšují tonus kosterních svalů. Po dosažení kritické úrovně začíná svalový třes. (48)
- 3) Arterio-venózní anastomózy v kůži představují specifickou strukturální adaptaci kožního prokrvení. Jsou řízeny sympatickou částí autonomního nervového systému, jehož aktivita je regulována hypotalamem.. Tyto A-V anastomózy jsou širší než periferní arterioly a představují nízkoodporový zkrat, skrze který je regulován průtok krve kůží. (48)

- 4) Aktivace hypofýzy: uvolněním TSH z hypofýzy dochází k aktivaci štítné žlázy. Uvolněním tyroxinu dojde ke zvýšení bazálního metabolismu, což ovlivní produkci tepla.(22)

3.2.6. Centrální mechanismy termoregulace:

Jedná se o dva typy mechanismů, jsou provokované chladem nebo teplem. Vedou k regulaci tepla zpětnovazebnými okruhy skrze diencefalon – hypotalamus - hypofýza – periferie a zpětně.

1. První okruh řídí výdej tepla

Při prohřátí frontální oblasti hypotalamu (area praeoptica), dochází k ochraně před celkovým přehřátím organismu periferní vazodilatací, evaporací a polyppnoí. Tento mohutný výdej tepla je někdy doplněn nechutenstvím, apatií a nechutí k pohybu (omezení svalové činnosti). Snižuje se hladina STH a TSH. Dochází ke změně chování tak, že člověk odkládá oděv, vyhledává stinná místa a v místnosti větrá. (22)

2. Druhý okruh odpovídá za tvorbu tepla

Zadní jádro thalamu chrání organismus před prochlazením. Vede k úspoře tepla v těle a ke zvýšení termogeneze. Dochází ke zvýšení svalového tonu, tremoru a k periferní vazokonstrikci. Dále dochází k útlumu polyppnoe. Zvýšená hladina tyroxinu aktivuje bazální metabolismus, který navozuje pocit hladu. Aktivací dřeně nadledvin dochází k sekreci adrenalinu a noradrenalinu. Mění se chování člověka chuť k pohybu či svalové činnosti. (22)

Spoje mezi limbickým systémem, hypotalamem, RF a diencefalem vedou k tomu, že dráždění chladovými nebo tepelnými stimuly je vždy spojeno se změnou tonu a reaktivity autonomního nervového systému (zvláště sympatiku), včetně změny termoregulace a zvýšení bazálního metabolismu.

3.3. Vliv tonu autonomního nervového systému na transport tepla

ANS mění bod tolerance a mění reaktivitu organismu. Má schopnost vyrovnávat změny vnitřní homeostázy organismu a mění rychlost vyrovnání teploty těla s okolím. (22)

ANS účinkuje nejčastěji prostřednictvím změny průsvitu cév a tím způsobuje regulaci průtoku krve ve tkáních.

Činnost sympatiku a parasympatiku je koordinována nadřazenými oblastmi CNS:

1. Míchou – která realizuje interakci vegetativní a somatické aferentace a eferentace a vegetativní reflexy
2. Retikulární formací mozkového kmene, zejména centry dýchacími a kardiovaskulárními. Je zde koordinována i souhra motility a sekrece v trávicím systému a podílí se na koordinaci při sexuálních funkcích a termoregulaci.
3. Mezimozkem – hypotalamem – jež je rozhodujícím článkem homeostázy a podílí se na řízení termoregulace, příjmu potravy a tekutin, sexuálního chování a dalších důležitých forem chování – strachu a agrese.
4. Mozkovou kůrou – což se uskutečňuje především různými vrozenými a získanými formami asociačních funkcí (např. vrozené změny dýchání a krevního oběhu při svalové práci). Vědomím úsilím lze např. regulovat intenzitu dechové a tepové frekvence. (48)

ANS účinkuje nejčastěji prostřednictvím změny průsvitu cév a tím způsobuje regulaci průtoku krve ve tkáních. Tonus cévních stěn je řízen třemi základními mechanismy:

Autoregulace - se uplatňuje hlavně v mikrocirkulaci, především v CNS a srdci. Tonus cévní stěny se mění v závislosti na koncentraci jednotlivých metabolitů. Dále se uplatňuje myogenní reakce a tkáňový tlak.

Autonomní řízení – prostřednictvím vláken sympatiku, která tvoří síť kolem cév. Ve stěnách těchto cév se nacházejí receptory α i β , na které se vážou mediátory sympatického nervstva, adrenalin a noradrenalin. Vyjimku tvoří cévy kosterních svalů a potních žláz, kde je na postgangliových vláknech sympatiku mediátorem acetylcholin.(48) Vazbou mediátorů na receptory α je vyvolána vazokonstrikce, vazbou na receptory β vasodilatace. Oba typy receptorů se nacházejí ve všech cévách, ale v různém poměru. V koronárních cévách a cévách zažívacího traktu je poměr obou typů vyrovnaný. V cévách ledvin a kůže převažují receptory α , při aktivaci sympatiku tedy převládne vazokonstrikce. V cévách kosterních svalů převažují receptory β , kde aktivací

sympatiku dochází k vazodilataci. Navíc při vysokých metabolických nárocích tkáň klesá citlivost receptorů α a vzniká tak „funkční sympatektomie“. (39)

Humorální řízení je zprostředkováno katecholaminy, kininy, kortizolem, histaminem, angiotensinem II, serotoninem a dalšími. (39)

4. Účinky termoterapie obecně

Dle použité teploty dělíme termoterapii na:

- Pozitivní termoterapii – působíme teplými a horkými podněty
- Negativní termoterapii – působíme chladnými a studenými podněty

Hranicí mezi těmito oblastmi jsou indiferentní procedury, které člověk nepocítuje ani jako chladné, ani jako teplé. (39)

Účinky termoterapie:

- Přímé – změnou fyzikálních a biochemických vlastností tkání po absorbování aplikované energie
- Nepřímé – zprostředkované nervovým a endokrinním systémem
- Ostatní – odkladný, placebo apod. (39)

V termoterapii jsou považovány hlavní účinky nepřímé, které se projevují na změnách prokrvení. Při aplikaci tepelných podnětů a procedur nejsou změny prokrvení v celém organismu jednotné. Při celkových aplikacích pozitivní či negativní termoterapie platí tzv. Daster- Moratovo pravidlo pro reakci cév různých orgánů. Zjednodušeně lze říci, že cévy vnitřních orgánů reagují opačně, nežli cévy kůže, což nutí organismus změnit distribuci velkého krevního objemu při reakcích kožních cév. Celková aplikace pozitivní termoterapie tedy vyvolá vazodilataci v kůži a vazokonstrikci ve splachnické oblasti a ve svalech. Celková aplikace chladu vyvolá naopak vazokonstrikci v kůži a vazodilataci v ostatních orgánech včetně svalů. (39)

4.1. Účinky pozitivní termoterapie – celotělová i lokální aplikace tepla

Vazomotorický účinek – při **náhlé** aplikaci horkého podnětu reaguje zdravý cévní systém krátkodobou vazokonstrikcí, která je vystřídána rychlou vazodilatací. Ta zasahuje především kapiláry, drobné arterie a vény. Při **pomalém** nástupu teploty chybí úvodní vazokonstrikce a okamžitě se uplatní vazodilatace. Při delším působení tepla dochází k poklesu tonu cévní stěny a výrazné hyperémii. Zvýšení látkové výměny a pokles tonu sympatiku vedou k vazodilataci v kůži (ve svaly je naopak pokles tonu sympatiku provázen vazokonstrikcí) Tohoto bývá využíváno například při léčbě poruch periferního prokrvení.

Kardiovaskulární systém – reakce kardiovaskulárního systému se uplatní převážně u celkových aplikací tepla. Dochází k aktivaci vegetativního nervstva a dilataci cév. Při teplých koupelích dochází v souvislosti s vazodilatací k poklesu periferního odporu, k poklesu krevního tlaku a k vzestupu srdeční frekvence.

Myorelaxační a spasmolytický účinek - snižuje se dráždivost motorických i senzitivních nervových vláken a svalových vřetének. Dochází k relaxaci hypertonických svalů.

Analgetický účinek – je do jisté míry výsledkem uvolnění spasmů a zlepšení cirkulace (rovněž přes limbický systém) (39)

4.2. Účinky negativní termoterapie – celotělová či lokální aplikace chladu

Vazomotorický účinek - při **náhlé** aplikaci chladového podnětu dochází k vazokonstrikci cév především v povrchových vrstvách (kůže, podkoží). Tímto mechanismem se organismus brání úniku tepla. Intenzita vazokonstrikce závisí na výchozím stavu

organizmu. U přehřátého organismu je méně výrazná než při normální či dokonce nižší výchozí tělesné teplotě. Při dalším působení chladu se po počáteční vazokonstrikci objevuje vazodilatace ještě během tohoto působení. U osob s normálně reagujícími cévami se uplatní ochranné mechanismy, které brání poškození tkání chladem a hypoxémií. Jde o tzv. „hunting response“, kdy při poklesu kožní teploty na 15°C dochází ke krátkodobému rozšíření cév a vzestupu teploty o 5°C. (39) Podstatou tohoto mechanismu je uvolnění chemických substancí z podchlazené tkáně, které způsobí vazodilataci. Poté, co jsou krevním proudem odplaveny, dilatace mizí. Konkrétní průběh reakce je závislý na řadě faktorů (např. okolní teplotě), objevuje se asi po 2 až 6 minutách od začátku působení chladu a dále se opakuje v intervalech 15 až 30. minut. Po ukončení působení chladu vzniká reaktivní hyperémie. Touto reakcí se snaží organismus vyrovnat lokální deficit tepla a normalizovat poměry. Vazodilatace a zvýšení průtoku krve dosahuje maxima během asi 20 minut po ukončení působení chladu. (39)

Při **pomalejším** nástupu působení chladu je průběh obdobný, počáteční vazokonstrikce je však méně intenzivní.

Ke změnám prokrvení dochází i v ostatních orgánech. Např. v myokardu je reakce shodná s cévami kůže a kosterními svaly. Při lokální aplikaci chladu na kůži přechodně vzroste prokrvení a teplota hlouběji uložených svalů a kloubů. Po několika minutách i zde dochází k vazokonstrikci. (39)

Popisované změny tonu cév jsou především výsledkem výrazného zásahu do řízení vegetativního systému. Obecně je ovlivněn především sympatikus, záleží však na výchozím stavu organismu. Je zde používán pojem „**přeladění**“ **vegetativního systému**. Jedná se o zklidňující účinek při fyzickém či psychickém vypětí (snížení tonu sympatiku a zvýšení tonu parasympatiku) a naopak povzbuzující účinek při únavě či útlumu (zvýšení tonu sympatiku). (39)

Reakce kardiiovaskulární: spočívají ve vzestupu krevního tlaku (při vazokonstrikci) a srdeční frekvence.

Změny svalového tonu – při celkovém ochlazení, nebo při silném místním působení chladu je registrován vysoký přírůstek gamamotorické aktivity, zvýšení svalové dráždivosti a zvýšení svalového tonu, dochází k tzv. „cold response“. Tato změna svalového tonu je využívána např. u periferních paréz. Při pokračujícím ochlazení se

snižuje množství aferentních vjemů, snižuje se gamamotorická aktivita a svalový tonus klesá. Tohoto účinku je využíváno při léčbě spastických stavů, např. u roztroušené sklerózy.

Při pomalém lokálním ochlazování je chladová odpověď mnohem méně výrazná a rychle dochází k poklesu svalového tonu. Přechodné snížení aktivity svalových vřetének způsobí snížení svalového tonu a myorelaxaci. (39)

Analgetický účinek je vysvětlován mnoha mechanismy:

- Lokální zpomalení vedení senzitivními nervy způsobí snížení bolestivé aference.
- Snížení intenzity chemických reakcí, které jsou nutné ke vzniku vzruchu na receptorech a volných nervových zakončeních, vedou ke snížení dráždivosti receptorů.
- Vrátková teorie „Gate kontrol“ dle Melzacka a Walla – pomocí mechanismu presynaptické inhibice míšních interneuronů, které vedou bolestivé podněty do CNS
- Omezení vzniku otoku v akutní fázi zánětu

Metabolický účinek - při snížení teploty lokálně o 7 – 9 °C dojde k lokálnímu zpomalení metabolismu. Nevyplavují se humorální působky provokující bolest, může dojít k přechodné bloádě vedení bolesti. (39)

Účinky pozitivní i negativní termoterapie jsou v léčebné praxi velmi intenzivně využívány. Tepelné procedury jsou s oblibou indikovány k relaxaci svalových spasmů a ke zlepšení prokrvení periferních tkání. Chladové procedury naopak ke snížení bolesti, otoku a známek zánětu. Povšechné efekty těchto procedur jsou nám již známy. Další kapitoly budou věnovány účinkům celotělové chladové terapie a jejich vliv na regulaci jednotlivých tělních systémů.

5. Účinky celotělové chladové terapie na organismus

5.1. Neurofyziologie termoregulace v průběhu CChT

Účinkům chladu se organismus brání dvěma způsoby. Dochází jak k redukci tepelných ztrát (vazokonstrikce), tak ke zvýšené produkci tepla v organismu (svalový třes, bazální metabolismus). Tepelným nárazníkem, orgánem regulace a výdeje tepla je povrchová izolační poikilotermní vrstva rozličné šíře, ve které jsou uloženy periferní termoreceptory. *Povrch těla se působením teploty minus 120 - 130°C po dobu 2-3 minut ochladí na teplotu kolem +5°C (5,2°C v oblasti předloktí), teplota tělesného jádra zůstává zachována (57).* Chlad pronikne kůží a podkožím až do hloubky 1-2cm, kde zasáhne kromě periferních kožních receptorů i příslušné krevní a lymfatické cévy. Signály termoreceptorů těla i končetin jdou větvemi spinothalamického traktu do termoregulačního centra v zadním hypotalamu (48). Hypothalamus přijímá a vydává informace do retikulární formace, limbického systému a kůry. Tato spojení umožňují vysoký stupeň integrace somatických i vegetativních funkcí společně s vnímáním

doprovodných emocí. V průběhu vnímání extrémního chladu, vnímáme i silnou emoci, kterou v nás chlad vyvolal. Proto u některých emotivních osob dochází ke křiku jako reakci na extrémní ochlazení. Sníží-li se teplota tělesného jádra pod kritickou hodnotu začíná svalový třes. Výsledkem je až čtyřnásobné zvýšení produkce tepla (48). Vzhledem k tomu, že teplota tělesného jádra v průběhu CChT neklesá pod kritickou hodnotu (57), k mechanismu svalového třesu by nemělo docházet. Centrální regulační centrum v hypothalamu řídí prostřednictvím sympatiku arteriovenózní anastomózy. Tyto A-V anastomózy jsou širší než periferní arterioly a představují nízkoodporový zkrat, skrze který je regulován průtok krve kůží i kosterními svaly (48). Krev obchází periferii, dochází k centralizaci oběhu a redukci tepelných ztrát. Zvýšení metabolické aktivity je označováno za termogenezi chemickou (netřesovou). Tento typ termoregulace se uplatňuje u homoiotermních organismů vystavených chronickému chladu a proto se v průběhu akutně působící CChT neuplatní (48).

5.2. Stresová reakce v průběhu CChT:

Chlad je všeobecně vnímán jako stresový podnět, který spouští poplachovou reakci organismu. Dochází k iritaci sympatického nervového systému a vyplavují se katecholaminy ze dřeně nadledvin. Zároveň je popisována aktivace osy hypofýza - nadledviny a zvýšení hladiny plazmatického kortizolu (60). Princip celotělové chladové terapie je v mnohém podobný. Liší se však dobou trvání podnětu, jeho intenzitou a typem stresové reakce. V průběhu CChT působí na člověka chlad mezi minus 110 až 130 °C po dobu 2-3 minut. Tento podnět jistě působí jako stres a vyvolá při první návštěvě polaria stresovou reakci. Při dalších návštěvách se však organismus adaptuje a stresová reakce probíhá mnohem mírněji. Výzkumy bylo potvrzeno zvýšené vyplavení noradrenalinu (NA) po aplikaci CChT, které přetrvává ještě po 35 minutách výstupu z chladové komory. Měřené hodnoty adrenalinu se po aplikaci CChT významně nezměnily. Zároveň nedošlo k významné změně v koncentraci ACTH a kortizolu. Po opakovaných aplikacích došlo dokonce ke sníženému vyplavení ACTH jako známky adaptace organismu (26). Lze se proto domnívat, že CChT nevyvolává klasickou

stresovou reakci organismu vyplavením katecholaminů ze dřeně nadledvin. Z tohoto důvodu se lze domnívat, že lehká stresová reakce v průběhu CChT organismus nezatěžuje, ale působí na organismus spíše pozitivně ve smyslu jeho aktivace. Po ukončení chladové expozice stresová reakce doznívá do 30 minut. S doznívajícím účinkem sympatiku přebírá aktivitu parasympatikus, který po proběhlé stresové reakci zajišťuje anabolické procesy v organismu (48). Tato reakce autonomního nervového systému však může probíhat i protichůdně. Záleží na výchozím stavu autonomního nervového systému. (viz výše)

5.3. Reakce kardio – vaskulárního systému na CChT:

V průběhu celotělové chladové terapie dochází k mohutné vazokonstrikci periferních cév kůže a podkoží. Krev z kapilár, které jsou v kontaktu s nízkou teplotou, je redistribuována do vnitřního oběhu, kde proudí a filtruje se pod vyšším tlakem. Zvýšenou aktivitou sympatiku dochází k mírnému nárůstu srdečního tepu a tlaku krve (48,56) Po ukončení chladové expozice cévy dilatují, krev z centra proudí pod vysokým tlakem do periferie. Ve 4 – 5 minutě nastává proces reaktivní hyperémie, při které dochází až k čtyřnásobnému prokrvení kůže, podkoží a svalů (22). Periferní teplota kůže se navrácí k normě až po 25 minutách výstupu z chladové komory (57). Tepová frekvence se po aplikaci CChT snižuje a dokonce dosahuje nižších hodnot, než před vstupem do chladové komory. Po výstupu z chladové komory byl pozorován nárůst R-R intervalu srdce tj. prodloužení doby jednoho úderu srdce k druhému. Snížení srdeční kontraktibility je jedním z ukazatelů kardiální parasympatické modulace, jako důsledek extrémního celotělového ochlazování (56).

5.4. Reakce nervo-svalového aparátu na CChT:

V průběhu CChT dochází k aktivaci sympatické části autonomního nervového systému a vyplavení NA. Znamená to, že dochází k vazodilataci cév ve svalové tkáni a vazokonstrikci cév kožních. Dle délky a intenzity chladové stimulace dochází k odlišným účinkům na působící tkáň a jejich struktury (viz výše). Vzhledem ke krátkodobé a extrémní aplikaci chladu, dochází k mohutné signalizaci termoreceptorů do termoregulačního centra v hypothalamu. Vzhledem k propojení hypothalamu s limbickým systémem dochází k silné emoci a aktivaci retikulární formace. Skrze kmen poté dochází jak ke zvýšené aktivaci gama-motoneuronů a zvýšení svalového tonu, ale také ke zvýšené aktivaci alfa-motoneuronů, jako reakci na extrémní podnět. Po

výstupu z chladové komory tonus svalstva klesá a dochází k procesu reaktivní hyperrémie, kterým se tělo snaží vyrovnat předchozí lokální tepelný deficit. Vzhledem ke krátkodobému působení chladu nedochází ke snížení aference ze svalových vřetének a šlachových tělísek a tím ke snížení propiocepce. Riziko následného úrazu při případné pohybové aktivitě tím nevzniká. (9)

6. Sval a druhy svalové kontrakce

6.1. Sval

Svalstvo patří ke vzrušivým tkáním, jeho charakteristickou funkční vlastností je schopnost kontrakce a relaxace. Kontrakce, která navazuje na excitaci vzrušivé buněčné membrány je přímou přeměnou chemické energie na mechanickou a projevuje se aktivní silou a případně i zkrácením svalu. Základní stavební jednotkou kosterního svalu je svalové vlákno (svalová buňka). Několik vláken tvoří svalové snopečky, snopce a anatomický sval. Základní „kostru“ tvoří vazivová tkáň, která na konci svalu přechází ve šlachu. Každá svalová buňka obsahuje jeden až dva tisíce paralelně uložených myofibril. Myofibrily jsou složeny ze sériově uspořádaných sarkomer oddělených Z-liniami. Sarkomery jsou základními kontraktilními jednotkami svalu, jsou složeny ze svalových bílkovin – aktinu a myozinu spojených příčnými můstky v komplex zvaný aktomyozin. (29)

6.2. Princip svalové aktivity

Aktivaci kontraktálního aparátu zahajují vzruchy přiváděné do svalu motorickými nervy. Motorické jednotky (MJ) jsou tvořené jedním eferentním motoneuronem inervujícím jedno až tisíce svalových vláken. Spojení mezi motoneurony a svalovými buňkami je zprostředkováno nervosvalovou ploténkou, ve které se při dostatečné stimulaci nervovým vzruchem vybaví akční potenciál, který se šíří jako vzrušovací aktivita od ploténky k okrajům svalových vláken. Akční potenciál buněčné membrány je pomocí transverzálních tubulů předáván terminálním cisternám sarkoplazmatického retikula, odkud jsou uvolněny molekuly Ca^{2+} , které prostřednictvím troponinu a tropomyozinu ovládají možnost vzniku vazeb mezi aktinem a myozinem. Celý proces je závislý na energii poskytované adenosintrifosfátem. Osamělý vzruch vyvolá svalové trnutí, čím kratší je interval mezi podněty, tím větší je sumační odpověď svalového stahu. (29)

6.3. Elektrická aktivita svalu

Sval z elektrofyziologického pohledu, představuje generátor elektrické aktivity, kterou lze registrovat prostřednictvím povrchové či jehlové elektromyografie. Elektrická aktivita svalu je obrazem nervosvalové excitace svalové tkáně na nervový podnět z CNS. Je zobrazením aktivního stavu svalu, kdy dochází ve svalové buňce k transformaci chemické energie na energii mechanickou a tepelnou. Dílčí akční potenciály, které přísluší jednotlivým depolarizačním procesům jednotlivých svalových buněk, interferují v signál, který je snímán na povrchu těla a má charakteristický tvar a průběh. Pro srdeční sval se nazývá elektrokardiogram (EKG), pro kosterní sval elektromyogram (EMG). (29)

6.4. Druhy svalové kontrakce

Podle vnějších projevů svalové kontrakce se rozlišuje několik základních druhů kontrakce. V případě, že při aktivní činnosti svalu dochází k jeho zkracování, hovoříme

o koncentrické kontrakci. V případě, že se vzdálenost úponů při svalové kontrakci nemění, jedná se o izometrickou kontrakci. Při působení síly větší než proti které je sval schopen se aktivně zkracovat, dochází k prodlužování svalu i přes to, že je aktivně „kontrahován“. Tento děj se nazývá excentrická kontrakce. Dalším kritériem může být, jakou rychlostí dochází ke svalové kontrakci. Zvláštní případ, kdy je rychlost zkracování po celou dobu konání kontrakce stejná, nazýváme izokinetickou kontrakcí. Dalším, spíše teoretickým případem svalové kontrakce, je izotonická kontrakce, kdy je silové působení na úponovou šlachy svalu konstantní v průběhu celé kontrakce. (29)

6.5. Svalová únava při izometrické kontrakci svalu:

Izometrická kontrakce svalu je definována jako takový stah svalu, při kterém není generován pohyb a vzdálenost začátku a úponu svalu se nemění (15). Při izometrické kontrakci dochází ve svalu k omezení krevního průtoku, přísunu kyslíku a živin. Již při kontrakci 30%MVC dochází k omezení průtoku krve svalem a dochází k akumulaci laktátu (12). Nástup svalové únavy je charakterizován těmito procesy: narušení Na^+ - K^+ rovnováhy, změna intracelulárních hodnot pH (zvýšení obsahu laktátu), akumulace anorganického fosfátu, snížení energetických rezerv nutných pro restituci ATP a snížení intracelulární koncentrace Ca^{2+} . Vzhledem ke složitosti dějů probíhajících při procesu svalové únavy, byl řadou autorů definován centrální a periferní nástup svalové únavy. Zatímco centrální nástup svalové únavy byl popsán jako časoprostorové snížení aktivace α -motoneuronů ovlivněné vyššími etážemi CNS, periferní nástup svalové únavy je charakterizován poruchou neuromuskulárního přenosu spojenou s intracelulárními změnami metabolismu svalu. Ciba foundation symposium definovalo svalovou únavu takto: 1. porucha rozumového provedení 2. porucha motorického provedení 3. vzestup EMG aktivity při prováděném pohybu 4. posun výkonového spektra směrem k nižším frekvencím 5. porucha výstupní svalové síly. Parametry doprovázející nástup svalové únavy jsou: 1. vzestup úsilí při udržování výstupní svalové síly 2. pocit diskomfortu či bolesti související se svalovou aktivitou 3. vnímání poruchy generované výstupní svalové síly (33). Z hlediska povrchové EMG je využíván pro určení nástupu svalové únavy tzv. index svalové únavy (fatigue index). Tento index definuje nástup svalové únavy jako posun střední hodnoty výkonového spektra v průběhu svalové kontrakce směrem k nižším frekvencím (34).

6.6. Maximální volní kontrakce svalu MVC

MVC je taková kontrakce svalu, při které dochází volním úsilím k největší možné aktivaci svalu a produkci maximálního silového momentu. Výstupní svalová síla tedy závisí na množství aktivovaných MJ, síle záškubu MJ a na vzájemné interakci svalových vláken (15). Test MVC je realizován proti statickému odporu v přesně definované poloze, s pevnou fixací jednotlivých segmentů. Délka svalu se tedy nemění. Mění se pouze nábor aktivovaných MJ svalu a tím roste výstupní svalová síla.

7. Metodika

Studie byla provedena v Kryocentru v Praze Modřanech v kryokomoře „Arctica“ polské firmy „Cryoflex“. (obr.1) Tato studie představuje pilotní studii u pěti probandů. Bylo vybráno 5 vrcholových sportovců. Čtyři jsou bobisté a jeden tenista. Všichni ve věku od 20 – 35 let. Anamnesticky nebyly shledány žádné úrazy ani onemocnění, které by měly dopad na pohybový systém a limitovaly průběh studie. Všech 5 mužů se zúčastnilo studie dobrovolně a souhlasili s publikováním výsledků v tisku. Projekt byl schválen etickou komisí UK FTVS a byl podepsán informovaný souhlas.

Studie obsahovala 3 na sebe navazující měření EMG aktivity svalu m.biceps brachii. Svalová aktivita byla snímána nejprve před vstupem do polaria, 5 min. po výstupu a 30 min. po výstupu. V každé ze tří po sobě navazujících měření byla u každého probanda stanovena hodnota MVC (maximální volní kontrakce) svalu. Z této hodnoty byla

vypočtena 30% hodnota svalové aktivity, která byla probandem udržována izometrickou kontrakcí po dobu 3. minut. Svalová aktivita na hranici 30% byla probandem udržována mechanismem zpětné vazby. Proband měl před sebou monitor, na kterém sledoval aktuální hodnotu svalové kontrakce a měl povinnost ji udržet na stanovené hranici 30%.

7.1. Popis měření povrchové EMG:

Průběh svalové aktivity byl monitorován EMG přístrojem Naroxon/Neurodata s vzorkovací frekvencí 1500 Hz o pásmové propustnosti 50 - 500 Hz. Použitý software - Myoresearch XP Master. Vyšetřované osoby zaujímali pozici v sedu. Snímaná horní končetina byla v poloze ve flexi 90° v kloubu ramenním a flexi 90° v kloubu loketním. Odpor proti izometrické kontrakci byl kladen železnou konstrukcí, která udržovala horní končetinu v konstantní pozici a nedovolila jakémukoliv pohybu. Nesnímaná horní končetina byla volně položena na vyšetřovacím stole. Registrační bipolární povrchové elektrody byly umístěny na svalové bříško m.biceps brachii dominantní horní končetiny, v místě motorického bodu. Elektrody byly po celou dobu výzkumu zachovány na stejném místě. Nebyly tedy v průběhu chladové expozice odebrány z povrchu kůže. (obr. 2.)

7.2. Kryokomora:

Do kryokomory vstupovali probandi spoře oděni v bavlněných trenýrkách, vybaveni čelenkou, rukavicemi a rouškou chránící horní cesty dýchací před silným mrazem. Kryokomoru tvoří dvě oddělené místnosti. V předsíni je teplota minus 60-70°C, v hlavní terapeutické místnosti je běžná provozní teplota minus 120-130°C. Mediem, prostřednictvím kterého vzniká chlad, je tekutá směs oxidu a dusíku v poměru 21 : 79 %. (25) V předsíni polaria se probandi zdrželi cca 30 sekund, poté přešli do hlavní kryoterapeutické místnosti, kde setrvali stanovenou dobu 3 minuty.

8. Výsledky studie

8.1. Vyhodnocení nástupu svalové únavy:

Nástup svalové únavy jsme definovali jako pokles frekvence střední hodnoty výkonového spektra EMG signálu o 30% oproti hodnotě frekvence na začátku každého měření. U čtyř z pěti probandů došlo k oddálenému nástupu svalové únavy v průběhu izometrické kontrakce po aplikaci CChT. Izometrická kontrakce byla měřena před aplikací CChT, poté po 5. a 30. minutě výstupu z chladové komory. U probandů č. 1-4 došlo k nástupu svalové únavy po aplikaci CChT vždy za delší časový úsek než před aplikací CChT. Po aplikaci v 5. minutě došlo u druhého a čtvrtého probanda k výraznému prodloužení nástupu svalové únavy až o dvojnásobek naměřené původní hodnoty (před aplikací CChT). U probanda č. 5 nedošlo k nástupu svalové únavy ani v jednom ze tří po sobě jdoucích měření. Nedošlo tedy k poklesu střední hodnoty

frekvence o 30%. Ve 30. minutě je u všech čtyřech probandů pozorován pokles časového intervalu nástupu svalové únavy zpět k původním hodnotám. (Tab.1.)

Proband	Izometrie před	Izometrie po 5.min	Izometrie po30.min
I	70 s	80 s	80 s
II	70 s	130 s	80 s
III	50 s	70 s	60 s
IV	50 s	120 s	90 s
V – bez únavy	180s	180 s	180s

Tab. 1 : Vyjadřuje časový interval nástupu svalové únavy v průběhu izometrické kontrakce. Časové hodnoty jsou vyjádřeny v sekundách. U probandů č. 1-4 lze registrovat oddálení nástupu svalové únavy po aplikaci CCHT. U probanda č.2 a č.4 došlo k oddálení nástupu únavy až o dvojnásobek naměřené původní hodnoty a proto jsou zvýrazněny modře. U probanda č.5 nebyla registrována svalová únava v průběhu měřených 180 sekund.

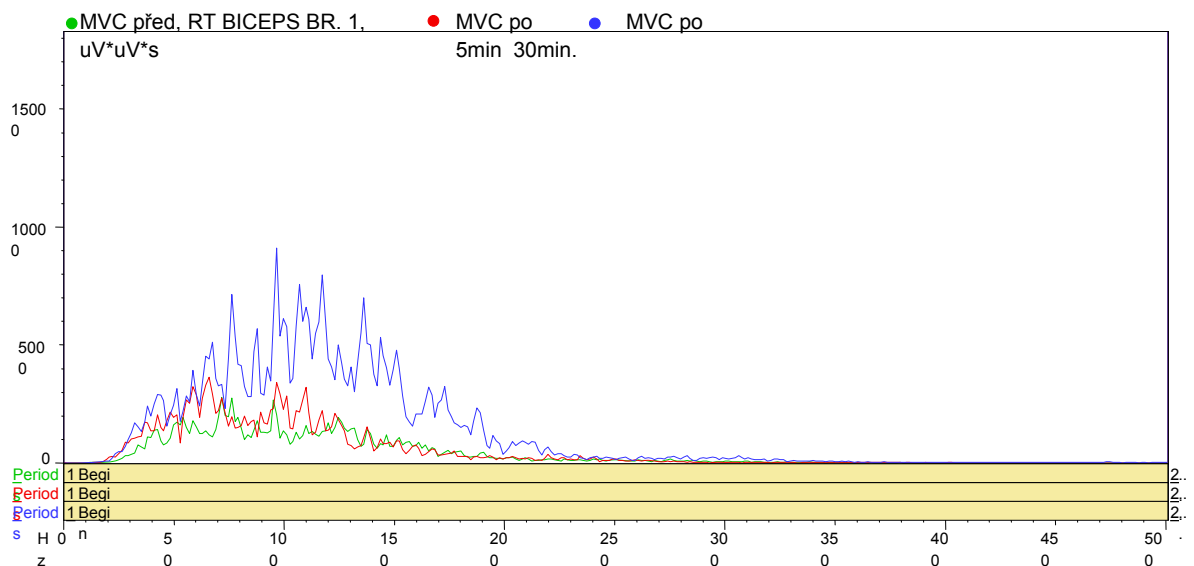
8.2. Vyhodnocení MVC:

Maximální volní kontrakce svalu byla vyhodnocena před vstupem do chladové komory, v 5. a 30. minutě po výstupu z chladové komory. U všech pěti probandů došlo při měření v 5. minutě po aplikaci CChT ke zvýšení MVC. Při měření ve 30. minutě docházelo již ke snížení hodnot MVC oproti naměřeným hodnotám v 5. minutě. Naměřené hodnoty ve 30. minutě však zůstávají u čtyř probandů vyšší, nežli hodnoty naměřené před vstupem do polaria. (Tab.2.)

Proband	Před (μ V)	5 min. po (μ V)	30 min po (μ V)
I	3606	4051	4563
II	4441	5154	4752
III	2936	4643	2747
IV	3638	4628	3695

Tab. 2 : Naměřené hodnoty MVC jsou zobrazeny v jednotkách mikrovolt a zaokrouhleny na celá čísla. U všech pěti probandů, došlo při měření v 5. minutě, ke zvýšení MVC po aplikaci CCHT.

V daném intervalu maximální volní kontrakce bylo vyhodnoceno frekvenční spektrum, které hovoří o časoprostorové aktivaci motorických jednotek (MJ) svalu (Tab. 3.) U třech probandů došlo při MVC po aplikaci CChT jak k prostorové sumaci (vyššímu náboru) motorických jednotek svalu, tak k časové sumaci (vybíjení vyššího kmitočtu) MJ svalu. Tab. 3. ilustrativně zobrazuje rozložení výkonového frekvenčního spektra v průběhu tří nezávislých maximálních kontrakcí u probanda číslo 1. Zelená křivka vyjadřuje výkonové frekvenční spektrum v průběhu MVC před vstupem do polaria, červená křivka 5. min po výstupu a modrá křivka 30. min po výstupu z polaria. Je zde patrné výrazné zvýšení výkonového frekvenčního spektra v průběhu MVC, vyhodnoceného po 30. minutách výstupu z polaria.



Tab. 3 : Výkonové frekvenční spektrum v průběhu MVC. Zelená křivka - před vstupem do polaria, červená křivka - 5. min po výstupu, modrá křivka - 30. min po výstupu z polaria

8.3. Diskuze:

Při měření izometrické kontrakce před vstupem do polaria, docházelo u všech probandů k pocitům dyskomfortu a bolesti svalu z důvodu narůstající hypoxie a acidózy. Pocity se většinou shodovali s naměřenými hodnotami. Izometrická kontrakce po 5. minutách

výstupu z polaria byla snášena ze všech měření nejlépe a zároveň bylo dosahováno nástupu svalové únavy za mnohem delší časový interval. Probandi nepocítovali bolest ve svalu a k udržení 30% kontrakce nebylo nutné použít tak velkého úsilí jako v prvním případě. Vzhledem k účinkům CChT na organismus se zde nabízí několik možností, jak si lze danou skutečnost vysvětlit.

I) Sval po absolvované kryoterapii v tomto časovém intervalu ještě nemá svou výchozí teplotu. Dochází zde již k dilataci cév a zvýšenému prokrvení, ale periferní teplota ještě nedosahuje své výchozí úrovně. Návrat povrchové kožní teploty nastává až ve 30. minutě po výstupu z kryokomory (57). Sval se při kontrakci zahřívá a 75% své energie spotřebuje na své vlastní ochlazení (23). Po předchozím ochlazení svalu nedochází k tak rychlému zahřívání a sval může více energie investovat do mechanismu kontrakce. To může být jeden z důvodů, proč není ve svalu vnímána bolest v průběhu izometrie.

II) Dalším vysvětlením pro snížené vnímání bolesti je stimulace A- δ nervových vláken, které vedou informace o účinku chladu do CNS. Tato vlákna mají více funkcí. Jsou zodpovědná jak za vnímání chladu, ale i bolesti (38). Nabízí se zde více mechanismů sníženého vnímání bolesti. Za prvé může docházet k inhibici vnímání bolesti již na periférii, kde chladová stimulace A- δ nervových vláken přehluší vedení bolestivých vjemů do míchy. Druhá možnost je inhibice centrální, kdy dochází k útlumu přenosu bolestivých vjemů mechanismem presynaptické inhibice míšních interneuronů, které vedou bolestivé podněty do CNS. Jinými slovy dojde k uzavření vrátek a sníženému vnímání bolesti stimulací silných a rychle vedoucích vláken typu A. (11).

III) Nesmíme také opomenout proces reaktivní hyperémie. Ve svalu dochází ve 4-5 minutě ke čtvornásobnému prokrvení (22). Sval má zvýšený přísun kyslíku a živin. Dochází k odplavení produktů metabolismu (laktátu) a k normalizaci hodnoty pH. Sval proto není zatížen acidózou a hypoxií, které jsou hlavními parametry omezující jeho výkonnost.

Další otázkou je, jakým mechanismem dochází v 5. minutě po aplikaci CChT ke zvýšené MVC svalu. Nabízejí se dvě skutečnosti, které se mohou současně doplňovat.

Na periférii dochází k procesu dilatace cévního řečiště a ke zvýšenému prokrvení svalů (obohacení tkání o kyslík a živiny), zároveň dochází k centrální aktivaci α -motoneuronů z CNS. Z dostupné literatury se lze dočíst, že *při činnosti svalu se aktivují jednotlivé motorické jednotky asynchronně postupným náborem MJ v lineární závislosti na vyvíjeném úsilí. Zvyšování úsilí probíhá „prostorovou sumací“ aktivních neuronů, tzv. rekrutací, tj. stoupajícím náborem počtu aktivovaných motoneuronů ve svalu. Při vyvíjení nadměrného úsilí při svalové kontrakci dochází k „časové sumaci“, tj. MJ vybíjejí vyšším kmitočtem než obvykle. Ani při maximálním úsilí však nedochází k aktivaci všech MJ. Stává se tak při nebezpečích ohrožení života, nebo při maximálních emocích* (52). Tato maximální emoce přichází v průběhu vnímání maximálního podnětu, kterým teplota – 130°C zajisté je. Organismus reaguje aktivací, která vychází z limbického systému a prostřednictvím retikulární formace dochází k aktivaci míšních α -motoneuronů. Touto cestou dojde k aktivaci „spících“ MJ, které se za běžných situací do maximální kontrakce nezapojí (52). Frekvenční spektrum vyhodnocené v daném intervalu MVC ukazuje, že k časoprostorové sumaci MJ svalu po aplikaci CChT opravdu dochází. Vzhledem k malému počtu probandů, nelze tento jev pokládat za potvrzený. Lze se však domnívat, že na určité jedince chlad působí zvýšením centrální aktivační úrovně, jejímž vlivem dochází k nadměrné aktivaci MJ a tím k produkci maximální možné volní kontrakce svalu. Ve 30. minutě dochází k postupnému snižování hodnoty MVC u všech pěti probandů. Snížení hodnoty MVC ve třetím měření si lze vysvětlit periferním nástupem svalové únavy a centrálním snížením aktivační úrovně organismu, v důsledku odeznění působení extrémního podnětu. Proband již není schopen volním úsilím ke generaci silového momentu původní intenzity jak z důvodu zvýšeného katabolismu svalu a vyčerpání důležitých substrátů (Ca^{2+} , ATP..), tak z důvodu snížení centrální aktivační úrovně.

Vzhledem k vypočítaným výsledkům se zde nabízí otázka, jakým způsobem se dají účinky celotělové chladové terapie využít například v oblasti vrcholového sportu. Na toto téma proběhlo již mnoho výzkumů zabývajících se účinky tepla či chladu v procesu regenerace svalové tkáně. Mnohé se zabývají otázkou, jakým způsobem lze dosáhnout lepší výkonnosti sportovců. Zda je lepší svalstvo před výkonem zahřát, či předchladit. Výzkum institutu sportovních věd univerzity v Dortmundu potvrdil, že předchlazení svalové tkáně a tím i snížení teploty tělesného jádra o 0,55°C působí pozitivně na výkonnostní předpoklady sportovce. (49, 51) Došlo k naměření nižších hodnot tepové

frekvence při následné zátěži po předchozím ochlazení, nežli po předchozím zahřátí. Dále docházelo k nižšímu vzestupu teploty tělesného jádra, což oddaluje přehřátí organismu a tím snížení jeho výkonnosti.(49)

Velkou část energie vloží organismus na vlastní ochlazování. V průběhu tělesné zátěže se v těle hromadí teplo produkované svalovou činností a teplota tělesného jádra stoupá až na 40°C.(17) Toto teplo je nutné z těla odevzdat všemi možnými mechanismy termoregulace(viz výše). Ty však stojí organismus značnou dávkou energie. Díky předchozímu ochlazení jak svalstva (slupky), tak tělesného jádra dochází k ušetření této energie a proces přehřátí organismu se tímto oddaluje. Systém může proto bez problému tuto energii investovat do procesu svalové kontrakce. Dalším jevem, který provází celotělovou aplikaci chladu je zvýšení centrální aktivity, která může působit pozitivně při nutnosti vyvinout maximální silový výkon. Vzhledem k tomu, že nenarušuje vedení periferním nervstvem, nemělo by docházet k riziku mikrotraumat a přetížení svalové tkáně z důvodu snížené propriocepce ze svalů, šlach a kloubů. (9)

Vrcholový sport však není jedinou oblastí, kde se dají účinky celotělové aplikace chladu využít. Zvýšení svalového tonu a aktivity MJ lze pozitivně využít u onemocnění projevujících se svalovým oslabením např. u periferních paréz, myopatií, RS atd. Vzhledem k velmi výraznému vlivu na autonomní nervový systém lze tuto metodu využít u lidí vysoce pracovní vyčerpání, trpících poruchou spánku z důvodu nadměrné aktivity sympatiku. Díky „přeladění“ autonomního systému po proběhlé kryoterapii, dochází u těchto lidí k aktivaci parasympatiku, k uklidnění a navození spánku. Naopak je tomu u lidí trpících únavou a spavostí. Zde by mělo docházet chladovou stimulací k aktivaci sympatiku a celkovému nabuzení organismu.(35)

9. Závěr

Cílem této pilotní studie bylo objasnění účinku extrémního chladu na svalovou tkáň pomocí povrchové EMG. Zaměřili jsme se na detekci změny elektrické aktivity svalu po aplikaci CChT. Vzhledem k naměřeným výsledkům lze potvrdit, že ke změně elektrické aktivity svalu po aplikaci CChT opravdu dochází a to ve smyslu oddálení nástupu svalové únavy a zvýšení MVC. Těchto účinků lze pozitivně využít jak v oblasti vrcholového sportu, tak v oblasti léčebně - rehabilitační. Proto je metoda CChT svými účinky nápomocná při léčbě mnohých onemocnění, projevujících se svalovým oslabením (myopatie, RS), či zánětlivým kloubním onemocněním (arthritis rheumatoides). V oblasti vrcholového sportu slouží metoda CChT jako prevence svalové únavy po náročném sportovním výkonu. Představenou pilotní studií bychom rádi přispěli k procesu vědecky podložených informací o chování svalové tkáně po aplikaci celotělové chladové terapie. Zároveň doufáme, že tento příspěvek bude do budoucna vhodným stimulem pro studie následující.

10. Citovaná literatura

1. **AMBLER, Z.** Neurologie: skripta pro posluchače všeobecného lékařství. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1990, s. 6-22.
2. **AZZOPARDI, D., ROBERTSON, N.J., COWAN, F.M., RUTHERFORD, M.A., RAMPLING, M., EDWARDS, A.D.**, Pilot Study of Treatment With Whole Body Hypothermia for Neonatal Encephalopathy, *Pediatrics*, 2000, 106, s. 684-694
3. **BANFI, G., MELEGATI, G., BARASSI, A., D'ERIL G.M.** Effects of the whole-body cryotherapy on NTproBNP, hsCRP and troponin I in athletes, *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12, 2009, s. 609–610
4. **BANFI, G., MELEGATI, G., BARASSI, A., D'ERIL G.M.** Beneficial effects of the whole-body cryotherapy on sport hemolysis, *Journal of Human Sport & Exercise*, Vol 4, No 2, 2009, p.189-193, ISSN 1988-5202
5. **BENDER, A.L., KRAMER E.E., BRUCKER, J.B., DEMCHAK, T.J., CORDOVA, M.L., STONE M.B.** Local Ice-Bag Application and Triceps Surae Muscle Temperature During Treadmill Walking. *Journal of Athletic Training*, 2005;40(4), s. 271–275
6. **BERG, CH.L., HART, J.M., PALMIERI-SMITH, R., CROSS, C.M., INGERSOLL, CH.D.** Cryotherapy Does Not Affect Peroneal Reaction Following Sudden Inversion, *Journal of Sport Rehabilitation*, 2007, 16, s.285-294
7. **BIGLAND-RITCHIE B., JONES D.A., HOSKING G.P., EDWARDS R.H.T.** Central and peripheral fatigue in sustained maximum voluntary contraction of human quadriceps muscle. *Clin Sci Mol Med*. 1978, 54:609-614.
8. **CARSTEN, J.** Muscle fatigue and reactive oxygen species. *J Physiol*. 2006, 576.1: 1.
9. **CRAIG, A., WASSINGER, M.S., MYERS, B.J., GATTI, J.M., CONLEY, K.M., LEPHART, S.M.** Proprioception and Throwing Accuracy in the Dominant Shoulder After Cryotherapy, *Journal of Athletic Training*, 2007, 42, s. 84–89
10. **ČIHÁK, R.** Anatomie 1. Praha : Grada Publishing, 2001. 516 s. ISBN 80-7169-970-5
11. **ČIHÁK, R.** Anatomie 3. Praha : Grada Publishing, 2004. 692 s. ISBN 80-247-1132-X

12. **DE LUCA, C.J.** The use of Surface Electromyography in Biomechanics. *www.delsys.com*. [Online]1993. [Citace:8.32010.]<http://www.delsys.com/KnowledgeCenter/Tutorials.html>.
13. **DVIR, Z.** Clinical Biomechanics. New York : Churchill Livingstone, 2000. ISBN 0-433-07945-5.
14. **DUGUE, B., SMOLANDER, J., WESTERLUND, T., OKSA, J., NIEMINEN, R., MOILANEN E., MIKKELSSON, M.** Acute and long-term effects of winter swimming and whole-body cryotherapy on plasma antioxidative capacity in healthy women, *Scand. J. Clin. Lab. Invest*, 2005, 65, s. 395–402
15. **DYLEVSKÝ, I.** Obecná kineziologie. Praha: Grada Publishing, 2007, 190 s. ISBN 978-80-247-1649-7
16. **FEYS, P., HELSEN, W., LIU, X., MOOREN, D., ALBRECHT, H., NUTTIN, B., KETELAER, P.** Effects of peripheral cooling on intention tremor in multiple sclerosis, *J.Neurol.Neurosurg.Psychiatry* 2005, 76, s. 373–379
17. **GANONG, W.F.** Přehled lékařské fyziologie, Praha: Galén, 2005, 890 s. ISBN 80-7262-311-7
18. **GROMNICA, R., ŠMUK, L., BAJGAR, M., DUDYS, R.** Metoda celotělové chladové terapie poprvé v ČR. *Rehabil. fyz. lék.*, roč. 12, 2005, č. 4, s. 3-4.
19. **HADALA, M., BIEGANOWSKI, K., WIERZBOWSKA, C., TEJEDOR, N.B., SNELA, S.** Injuries in fotbal players and the medical staff work method in selected football teams in Poland and Spain. *Medycyna sportowa*, 2006, 5(6), Vol. 22, s. 272-276
20. **HOPKINS, J.T.** Knee Joint Effusion and Cryotherapy Alter Lower Chain Kinetics and Muscle Activity. *Journal of Athletic Training*, 2006, 41(2), s. 177–184
21. **HUBBARD, T.J., ARONSON, S.L., DENEGAR C.R.** Does Cryotherapy Hasten Return to Participation?: A Systematic Review, *Journal of Athletic Training*, 2004, 39(1), s.88–94
22. **JANDOVÁ, D.** Neurofyziologie termoregulace, studijní materiál, 3LF UK, bakalářské studium fyzioterapie, Praha, 2006.
23. **JOCH, W., ÜCKERT, S., FRICKE, R.** Bedeutung kurzfristig und hoch dosierter Kalteapplikation. *BISp-Jahrbuch*, Institut für Sportwissenschaft. Universität Münster, 2003, s. 245-252

24. **KRAUSE, B. A., HOPKINS, J. T., INGERSOLL, CH. D., CORDOVA, M. L., EDWARDS, J. E.** The Relationship of Ankle Temperature During Cooling and Rewarming to the Human Soleus H Reflex. *J.Sport.Rehabil.*, 9, 2000, s. 253-262
25. **KRYOMED**, spol. s r. o. [online]. c.2010, [cit.2010-08-03]. dostupné z: <
<http://www.kryomed.sk/cs/kryoterapia.html>
26. **LEPPALUOTO, J., WESTERLUND T., HUTTUNEN, P., OKSA, J., SMOLANDER, J., DUGUE B.** Effects of long-term whole-body cold exposures on plasma concentrations of ACTH, beta-endorphin, cortisol, catecholamines and cytokines in healthy females. *The Scandinavian Journal of Clinical & Laboratory Investigation*, Vol. 68, No. 2, April 2008, s. 145–153.
27. **LIU J.Z., BROWN R.W., YUE G.H.** A Dynamical Model of Muscle Activation, Fatigue and Recovery. *Biophysical Journal*. 2002, 82:2344-2359.
28. **MERLETTI, R., LO CONTE, L.** Surface EMG signal processing during isometric contractions. *J Electromyogr Kinesiol*. 1997, 7:241-250.
29. **OTÁHAL, S., TLAPÁKOVÁ, E., ŠORFOVÁ, M.** Kompendium biomechanika. [Online] 2003, [8-3-2010], dostupné z
<http://www.biomech.ftvs.cuni.cz/pbpk/kompendium/index.php>.
30. **PÁNEK, D.** Problém identifikace kontrakční strategie svalu: fázová charakteristika jako identifikátor šíření akčního potenciálu svalu. Disertační práce, Praha: FTVS UK, 2009, s. 130. Vedoucí disertační práce Prof.Ing. Stanislav Otáhal, CSc.
31. **PAVLU, D., PANEK, D.** EMG analysis of muscle fatigue by sensorimotor training - a contribution to evidence based physiotherapy. *International Journal of Rehabilitation Research*. 2007, 30:105.
32. **PAVLU, D., PANEK, D.** Muscle fatigue as limitation by sensorimotor training: EMG study. *Fizioterapi Rehabilitasyon*. 2007, 18(3):243.
33. **PÁNEK, D., PAVLŮ, D., ČEMUSOVÁ J.** Rychlost vedení akčního potenciálu svalu jako identifikátor nástupu svalové únavy v povrchové elektromyografii. *Rehabil. Fyz. Lék.*, roč. 16, 2009, č. 3, s. 96 -101.

34. **PÁNEK, D., PAVLŮ, D., ČEMUSOVÁ J.** Počítačové zpracování dat získaných pomocí povrchového EMG. Rehabil. Fyz. Lék., roč 16, 2009, č.4, s.177-180.
35. **PAPENFUSS, W.** Die Kraft aus der Kälte, Ganzkörperkältetherapie bei -110 °C. Regensburg: Edition K, 2005, ISBN 3-938912-01-4
36. **PETROFSKY, J., LAYMON, M.** Muscle temperature and EMG amplitude and frequency during isometric exercise. Aviat Space Environ. Med., 75, 2005, s. 189-200
37. **PETROVSKY J.S., LIND, A.R.** The influence of temperature on the amplitude and frequency components of the EMG during brief and sustained isometric contraction. Eur. J. Appl. Physiol., 44, 1980, s.189-200
38. **PFEIFER, J.** Neurologie v rehabilitaci. Praha: Grada Publishing, 2007, 352 s. ISBN 978-80-247-1135-5
39. **PODĚBRADSKÝ, J., VAŘEKA, F.** Fyzikální terapie I., Praha: Grada Publishing, 1998, 264 s. ISBN 80-7169-661-7
40. **PODĚBRADSKÝ, J., VAŘEKA, F.** Fyzikální terapie II. Praha: Grada Publishing, 1998, 171 s. ISBN 80-7169-661-7
41. **RICHE DOLLAR, M.L., DARBY, L.A., BROWN, T.M.** Ice Bag Application, Active Warm-Up and 3 Measures of Maximal Functional Performance, Journal of Athletic Training, 2006, 41(4), s. 364–370
42. **RYMASZEVSKA, J., RAMSEY, D., CHLADZINSKA-KIEJNA, S.** Whole-body cryotherapy as adjunct treatment of depressive and anxiety disorders, Arch. Immunol. Ther. Exp., 2008, 56, s. 63–68, ISSN 0004-069X
43. **SEHAM, M.D., THULESIUS, M.O.** Cooling is a potent vasodilator of deep vessels in the rat, Can. J. Physiol. Pharmacol. 79, 2001, s. 899–904
44. **SHEVCHUK, N.A., RADOJA S.** Possible stimulation of anti-tumor immunity using repeated cold stress: a hypothesis, Infectious Agents and Cancer, November 2007, 2:20
45. **SHIBUYA, S., MIYAMOTO, O., JANJUA, N.A., MORI, S., NORIMATSU, H.** Post-traumatic moderate systemic hypothermia reduces TUNEL positive cells following spinal cord injury in rat, Spinal Cord, 2004, 42, s. 29–34
46. **SILBERNAGL, S., LANG, F.** Atlas patofyziologie člověka. Praha: Grada Publishing, 2001, 404 s. ISBN 80-7169-968-3

47. **ŠTIRN, I., JARM, T., STROJNIK, V.** Evaluation of the mean power frequency of the EMG signal power spectrum at endurance levels during fatiguing isometric muscle contraction, *Kinesiologia Slovenica*, 14, 1, 2008, s. 28–38
48. **TROJAN, S.** *Lékařská Fyziologie*. Praha: Grada Publishing, 2003, 772 s. ISBN 80-247-0512-5
49. **ÜCKERT, S., JOCH, W.** The effects of warm-up and pre-cooling on the endurance performance in high ambient temperatures, *New Studies in Athletics*, no 1, 2007, s. 33-39
50. **ÜCKERT, S., JOCH, W.** Effects of pre-cooling on thermoregulation and exercise, *New Studies in Athletics*, no.4, 2005, s. 33-37
51. **ÜCKERT, S., JOCH, W.** Effects of warm up and precooling on endurance performance in the heat, *Br. J. Sport. Med.* 2007, 41, s. 380-384
52. **VÉLE, F.** *Přehled klinické kineziologie a patokineziologie pro diagnostiku a terapii poruch pohybové soustavy*. Praha: Triton, 2006, ISBN 80-7254-837-9
53. **VALENTA, F. a kol.** *Biomechanika*. Praha : Academia, 1985
54. **SMOLANDER, J., WESTERLUND, T., UUSITALO, A., OKSA, J., MIKKELSSON, M.** Lung function after acute and repeated exposures to extremely cold air (-110°C) during whole-body cryotherapy. *Clin. Physiol. Funct. Imaging*, 26, 2006, s. 232–234
55. **WESTERLUND, T., SMOLANDER, J., KOSKINEN, A. U., MIKKELSSON, M.** The blood pressure responses to an acute and long - term, whole-body cryotherapy (-110°C) in men and women. *Journal of Thermal Biology*, 29, 2004, s. 285–290.
56. **WESTERLUND, T., UUSITALO, A., SMOLANDER, J., MIKKELSSON, M.** Heart rate variability in women exposed to very cold air (-110 °C) during whole-body cryotherapy. *Journal of Thermal Biology*, 31, 2006, s. 342–346.
57. **WESTERLUND, T., OKSA, J., SMOLANDER, J., MIKKELSSON, M.** Thermal responses during and after whole-body cryotherapy (-110°C). *Journal of Thermal Biology*, 28, 2003, s. 601–608.
58. **WOZNIAK, A., WOZNIAK, B., DREWA, G., KIERZENKOWSKA, C.,**

RAKOWSKI, A., PORZYCH, M. Lipid peroxidation in blood of kayakers after whole-body cryostimulation and training, *Medycyna Sportowa*, 2007; 1(6); Vol. 23, s.15-22

59. **YAMADA, E., KUSAKA, T., ARIMA, N., ISOBE, K., YAMAMOTO, T., ITOH, S.** Relationship between muscle oxygenation and electromyography activity during sustained isometric contraction, *Clin. Physiol. Funct. Imaging*, 2008, 28, s. 216–221

60. **ZEMAN, V.** *Adaptace na chlad u člověka*. Praha: Galén, 2006, 131 s. ISBN 80-7262-331-1

11. Přílohy

Seznam příloh:

Příloha č. 1 Obrázky znázorňující průběh výzkumu

Příloha č. 2 Tabulky znázorňující frekvenční spektrum, vyhodnocené v daném intervalu maximální volní kontrakce.

Příloha č. 3 Tabulky zobrazující naměřené hodnoty maximální volní kontrakce (MVC) a izometrické kontrakce.

Příloha č. 4 Vyjádření etické komise UK FTVS a informovaný souhlas

Příloha č. 5 Článek na téma „Měření EMG aktivity svalové tkáně po aplikaci CCHT“ publikovaný v časopise *Rehabilitace a fyzikální lékařství*, č.1, 2010

Příloha č. 1 Obrázky znázorňující průběh výzkumu



Obr.1 Kryokomora



Obr. 2 Monitorace kryoterapie- Každá proběhlá terapie je přísně hlídána. Spodní červená křivka grafu znázorňuje vlhkost uvnitř komory, která nesmí být v polariu přítomna.

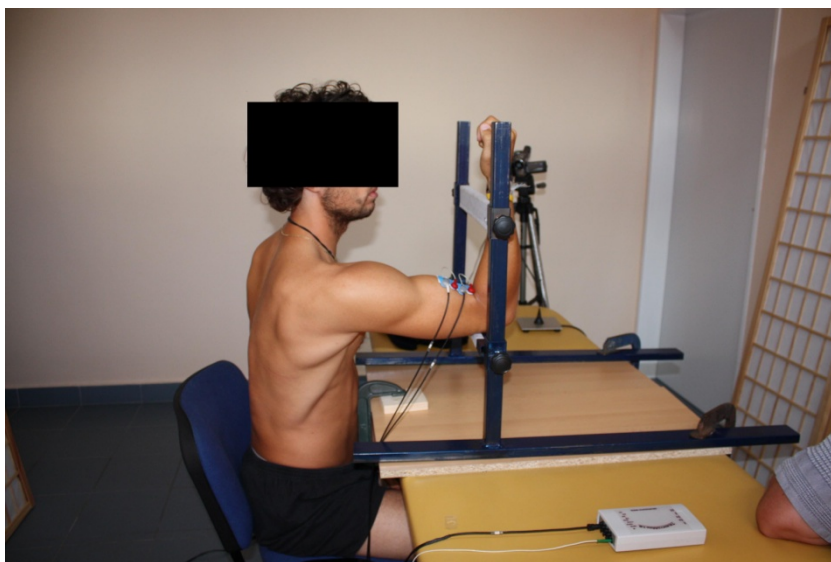


Obr. 3 Vstup do kryokomory, proband je vybaven rouškou chránící dýchací cesty před silným mrazem, čelenkou a rukavicemi

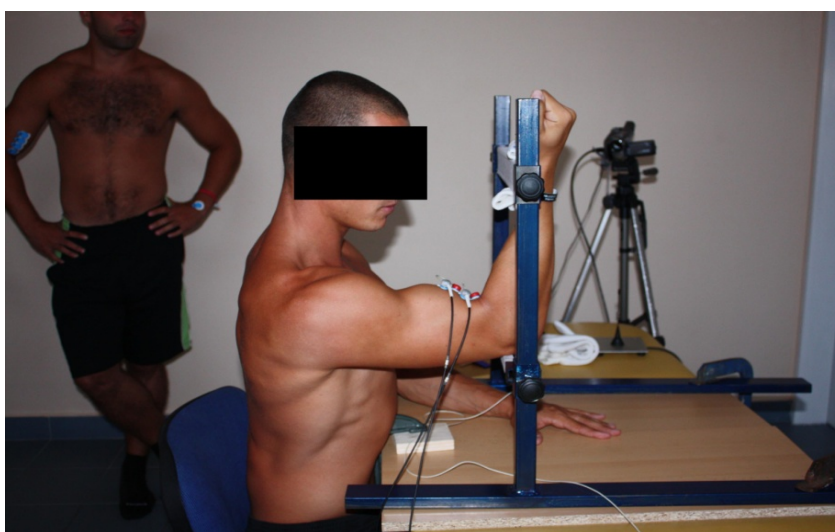


Obr. 5 Výstup z kryokomory

Obr. 6-7 Průběh měření povrchové EMG



obr. 6

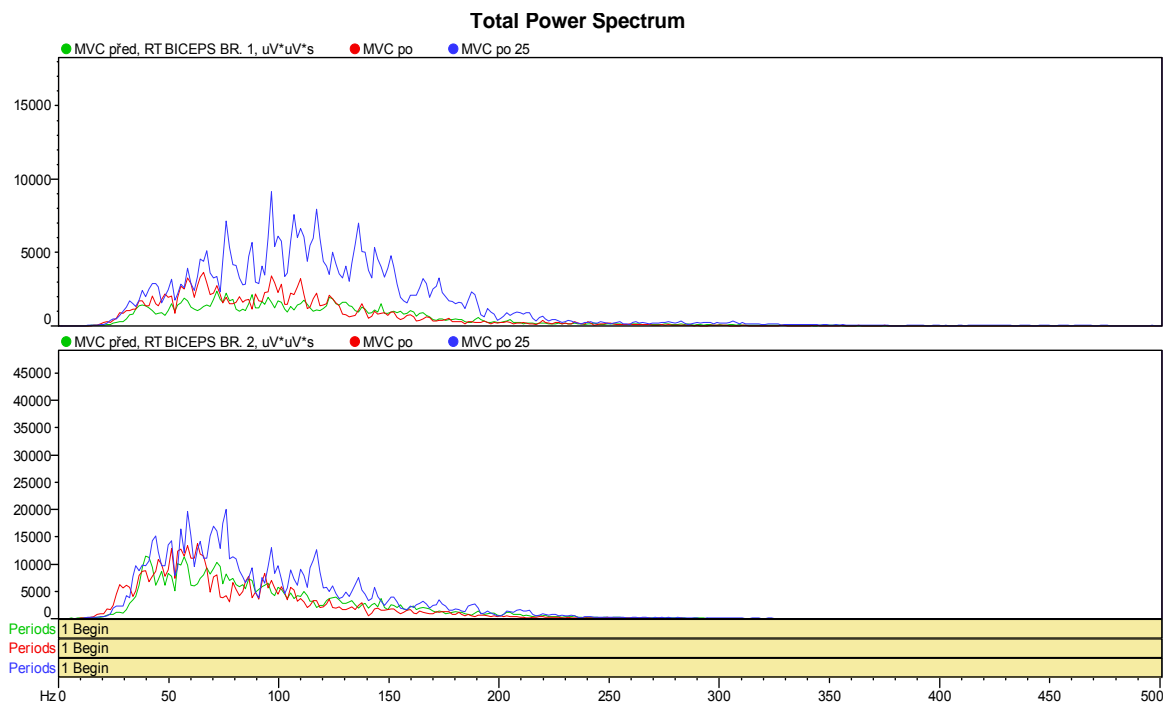


Obr. 7

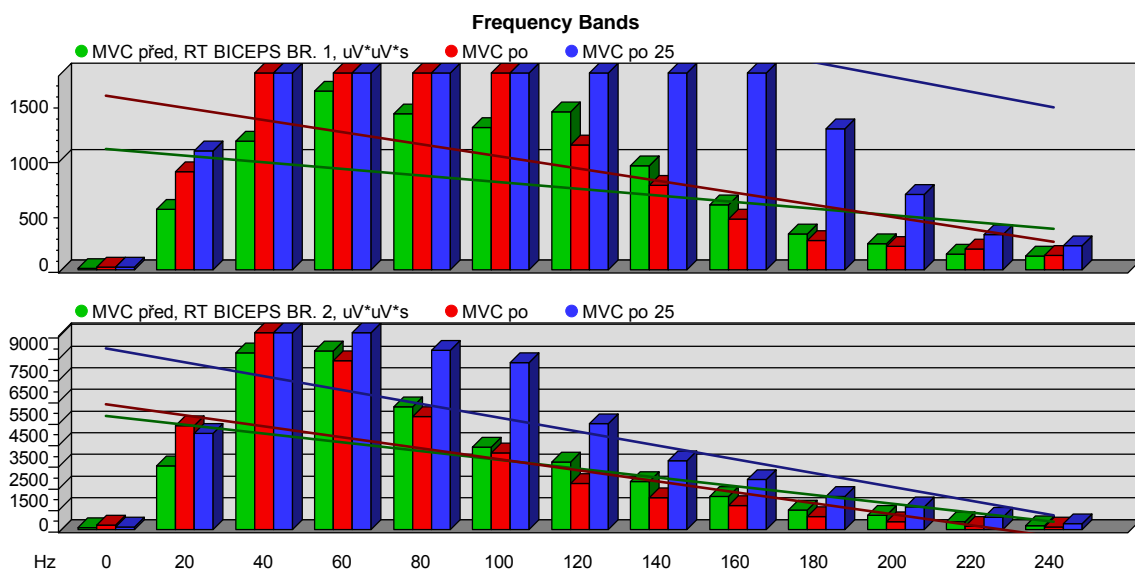
Příloha č. 2 Tabulky znázorňující frekvenční spektrum, vyhodnocené v daném intervalu maximální volní kontrakce.

Tab. 4 a 5 Zobrazení frekvenčního spektra u probanda č. 1

Tab. 4 – zelená křivka vyjadřuje průběh frekvenčního spektra před vstupem do polaria, červená křivka 5.min po výstupu z polaria a modrá křivka 30.min po výstupu z polaria.



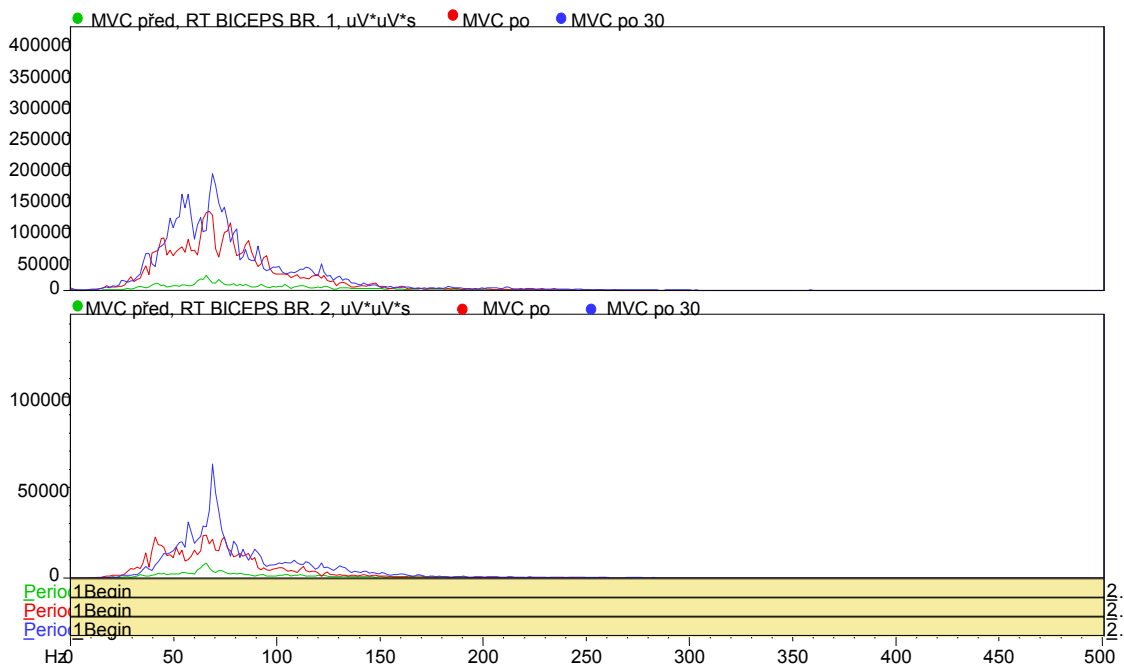
Tab. 5 – Zelený sloupec vyjadřuje MVC před vstupem do polaria, červený 5.min po výstupu a modrý sloupec 30.min po výstupu z polaria.



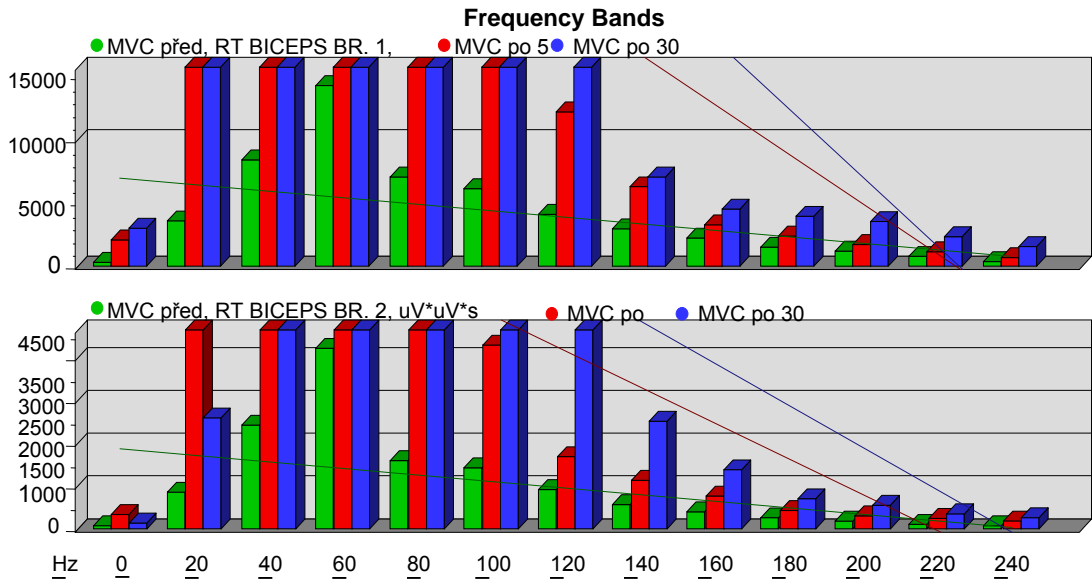
Tab. 5 a 6 Zobrazení frekvenčního spektra u probanda č. 2

Tab. 5 – zelená křivka vyjadřuje průběh frekvenčního spektra před vstupem do polaria, červená křivka 5.min po výstupu z polaria a modrá křivka 30.min po výstupu z polaria.

Total Power Spectrum

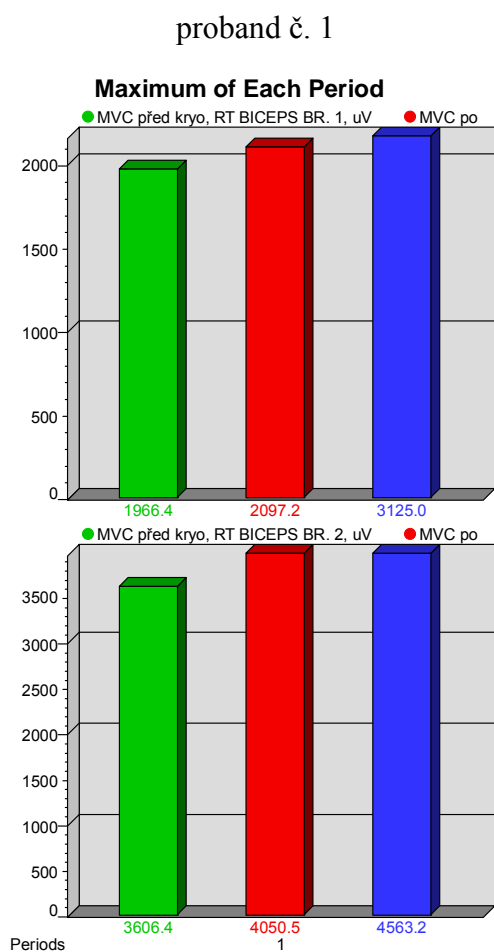


Tab. 6 – Zelený sloupec vyjadřuje MVC před vstupem do polaria, červený 5.min po výstupu a modrý sloupec 30.min po výstupu z polaria.

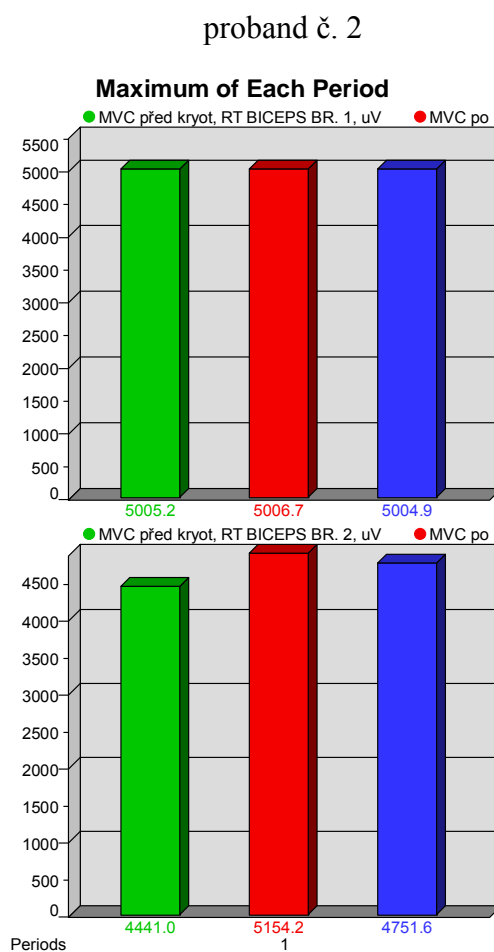


Příloha č. 3 Tabulky zobrazující naměřené hodnoty maximální volní kontrakce (MVC) a izometrické kontrakce.

Tab. 7 a 8 - Vyhodnocení MVC u probanda č.1. a 2. ve třech po sobě jdoucích měřeních. Zelený sloupec zobrazuje MVC naměřenou před vstupem do kryokomory, červený 5. min po a modrý sloupec po 25.minutách výstupu z kryokomory.

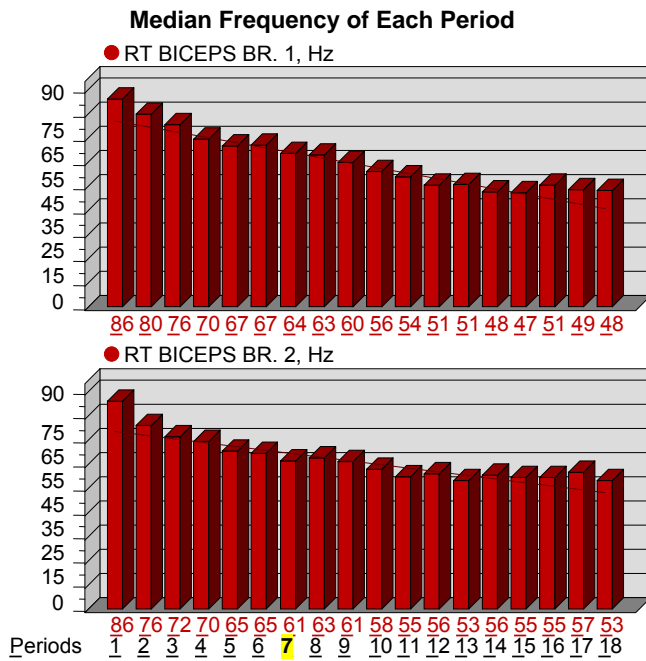


Tab.7



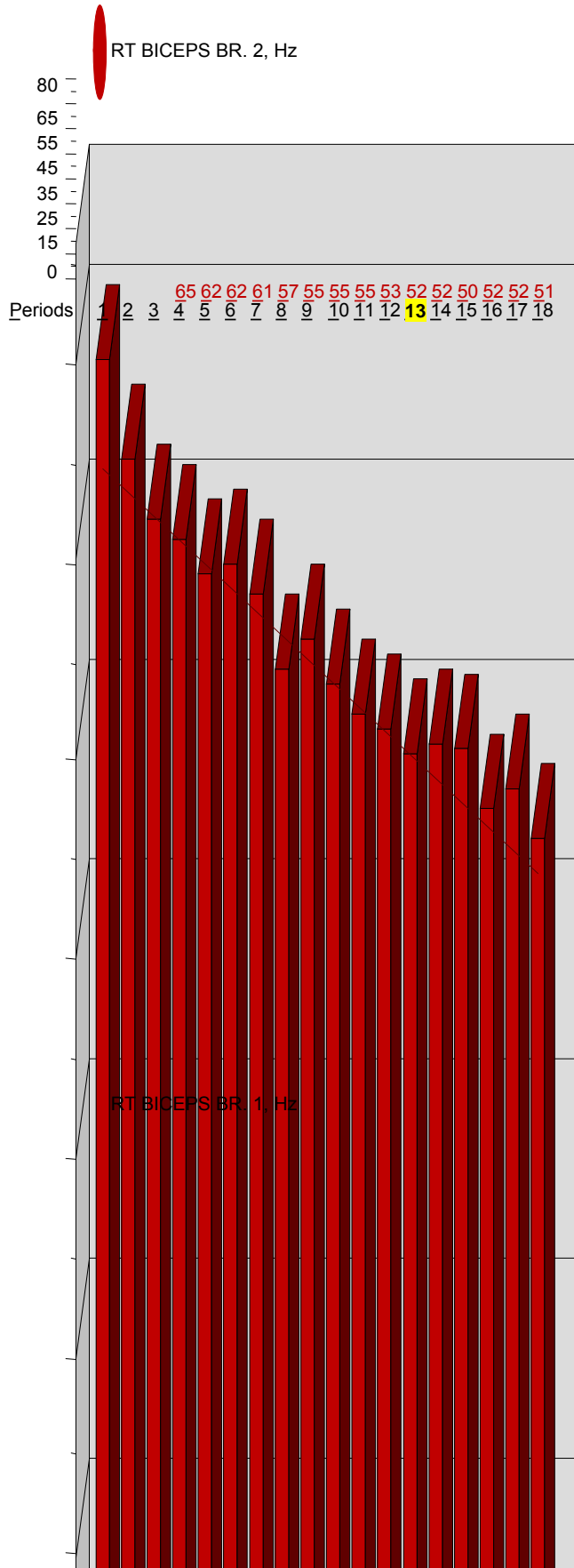
Tab.8

Tab. 8 – 10 Zobrazují EMG záznam nástupu svalové únavy v průběhu izometrické kontrakce u probanda č.2. (viz.tab.č.1.- vyhodnocení nástupu sval.únavy). **Tab. 8** vyjadřuje nástup svalové únavy v průběhu izometrické kontrakce před vstupem do polaria. Daný interval odpovídá sedmé periodě tj.70 sekundám. **Tab. 9** odpovídá izometrické kontrakci 5.min po výstupu z polaria. Svalová únava je registrována ve 13 periodě tj.130.sekund. **Tab. 10** odpovídá izometrické kontrakci 30 min. po výstupu z polaria. Svalová únava je registrována v 18 periodě tj. 180 sekund.



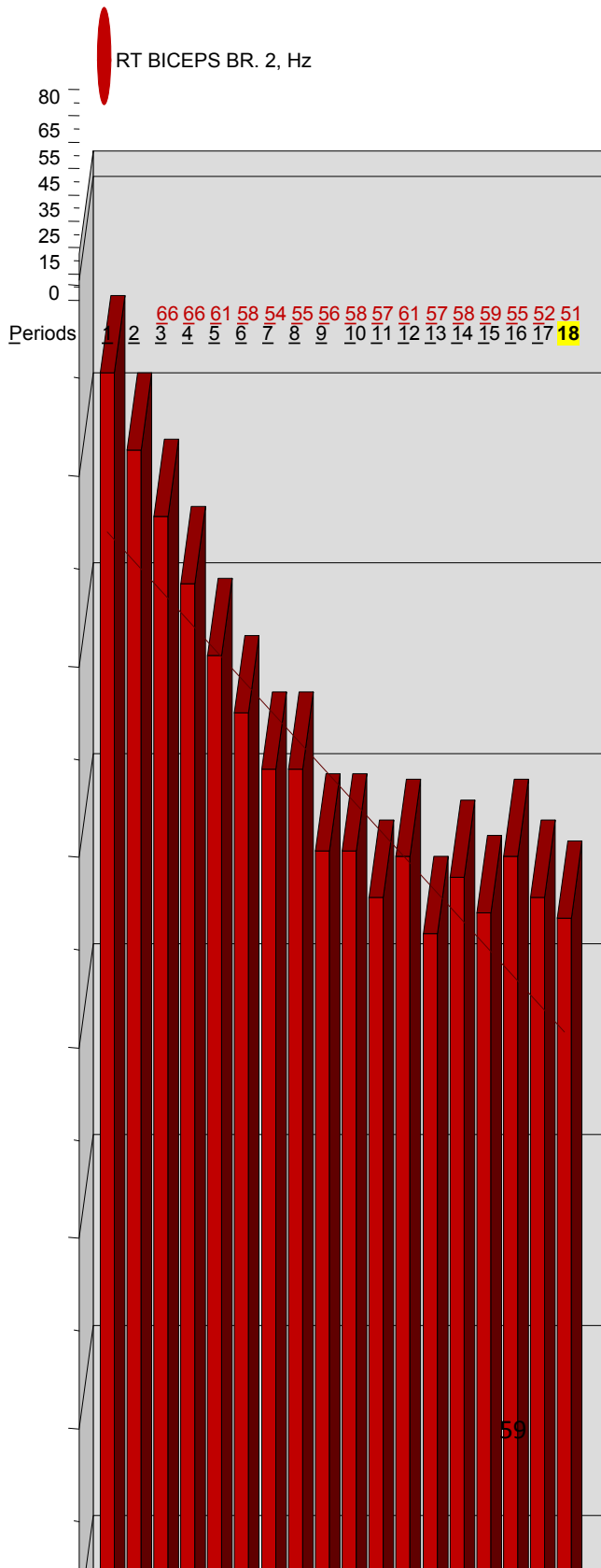
Tab. 8

Median Frequency of Each Period



Tab. 10

Median Frequency of Each Period



Příloha č. 4 Vyjádření etické komise UK FTVS a informovaný souhlas



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

Žádost o vyjádření etické komise UK FTVS

k projektu výzkumné, doktorské, diplomové (bakalářské) práce, zahrnující lidské účastníky

Název: EMG vybrané svalové skupiny po aplikaci celotělové chladové terapie

Forma projektu: diplomová práce

Autor (hlavní řešitel): Bc. Krumlová Helena

Školitel (v případě studentské práce): MUDr. David Pánek

Popis projektu

Projekt zahrnuje sledování účinku celotělové chladové terapie na svalovou tkáň. U 5-10 probandů bude měřena pomocí povrchových elektrod EMG svalová aktivita před a po výstupu z chladové komory. V chladové komoře bude maximální dosažená teplota -130°C . Povrchové elektrody budou aplikovány na kůži vybraných svalů před, v průběhu a po pobytu ve chladové komoře. Zároveň jim bude před a po výstupu změřen tlak.

Doba aplikace celotělové chladové terapie bude v rozmezí 2-3 minut (dle individuální tolerance). Tato doba aplikace je schválena odborníky jako neefektivnější zcela bezpečná.

Probandi budou ve věku mezi 20-35 lety, bez zdravotních obtíží a již s předchozí zkušeností s celotělovou chladovou terapií.

Zajištění bezpečnosti pro posouzení odborníky:

Ve výzkumu nebudou použity žádné invazivní metody, které by ohrožovaly zdraví probandů.

Etické aspekty výzkumu

Na výzkumu se nebudou účastnit děti, těhotné a kojící ženy ani duševně nemocní.

Informovaný souhlas (příložen)

V Praze dne

Podpis autora:

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: 0307/2009

dne: 18.5.2009

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



Doubravka
podpis předsedy EK

Informovaný souhlas

Cíl výzkumu:

- Sledování účinku celotělové chladové terapie na svalovou tkáň.
- Zhodnocení efektu terapie.

Průběh výzkumu:

- Svalová aktivita bude měřena pomocí povrchových elektrod EMG před a po výstupu z chladové komory. Povrchové elektrody budou aplikovány na kůži vybraných svalů před, v průběhu a po pobytu ve chladové komoře.
- Doba aplikace celotělové chladové terapie bude v rozmezí 2-3 minut (dle individuální tolerance).
- Teplota v chladové komoře nepřekročí hranici - 130 °C.
- Před a po výstupu z chladové komory bude probandům změřen tlak.

Rizika výzkumu:

- Osoba účastnící se projektu nebude vystavena žádnému riziku, které by ohrožovalo jeho zdraví.
- Kontinuita kůže nebude poškozena.

Svým podpisem účastník projektu stvrzuje, že mu byly poskytnuty všechny nezbytné informace o průběhu výzkumu a že mu bylo srozumitelně odpovězeno na všechny kladené dotazy.

Datum:

.....

Podpis:

Příloha č. 5 článek publikovaný v časopise Rehabilitace a fyzikální lékařství

MĚŘENÍ EMG AKTIVITY SVALOVÉ TKÁNĚ PO APLIKACI CELOTĚLOVÉ CHLADOVÉ TERAPIE (- 130 °C)

Krumlová H., Pánek D., Pavlů D.

Katedra fyzioterapie FVTS UK, Praha,
vedoucí katedry doc. PaedDr. D. Pavlů, CSc.

SOUHRN

Cílem této studie bylo sledování elektrické aktivity svalové tkáně po aplikaci celotělové chladové terapie pomocí povrchové EMG. Pozornost byla zaměřena na detekci MVC (maximální volní kontrakce) před a po výstupu z chladové komory. Dále byl sledován nástup svalové únavy v průběhu izometrické kontrakce před a po aplikaci celotělové chladové terapie (CChT). Svalová aktivita byla snímána z m. biceps brachii. Na měření se účastnilo pět vrcholových sportovců ve věku 20-35 let. Z výsledků studie vyplývá, že pomocí povrchové elektromyografie lze detekovat změnu elektrické svalové aktivity po aplikaci celotělové chladové terapie. U čtyř z pěti měřených probandů došlo k oddálenému nástupu svalové únavy po aplikaci CChT. Dále došlo ke zvýšení MVC po aplikaci CChT u všech pěti měřených probandů.

Klíčová slova: celotělová chladová terapie, kryoterapie, povrchová elektromyografie, svalová únava, izometrická kontrakce svalu, maximální volní kontrakce svalu (MVC)

SUMMARY

Krumlová H., Pánek D., Pavlů D.: Measurement of EMG Activity of Muscular Tissue after the Application of Whole-body Cool Therapy (- 130 °C)

The aim of the study was to follow muscular tissue electric activity after the application of whole-body cool therapy by means of surface EMG. The attention was devoted to the detection of MVC (maximum intentional contraction) before and after entering the cold chamber. Moreover, the authors followed the beginning of muscular fatigue in the course of isometric contraction before and after the application of whole-body cold therapy (CChT). Muscular activity was recorded from brachial m. biceps. Five top sportsmen at the age of 20-35 years participated in the measurement. Results of the study revealed that surface electromyography can detect changes in electric activity after the application of whole-body cool therapy. In four of the five measured probands there was a delayed beginning of muscular fatigue after the application of CChT. Moreover, the application of CChT resulted in increased MVC in all five measured probands.

Key words: whole-body cool therapy, cryotherapy, surface electromyography, muscular fatigue, isometric muscular contraction, maxima intentional muscular concentration (MVC)

Rehabil. fyz. Lék., 17, 2010, No. 1, pp. 14–20.

ÚVOD

Celotělová chladová terapie (CChT), nebo také kryoterapie, je fyzikální, rehabilitační metoda, která využívá suchého chladného vzduchu o teplotě -130 °C až -160 °C ke krátkodobému, reflexnímu ochlazení celého těla. Kryoterapie z hlediska rehabilitační medicíny patří mezi negativní termoterapii, při níž na lidskou tkáň působí teplota nižší než -10 °C (14). V dnešní době se využívají dva typy aplikace. Lokální (suchý vzduch, kryosáčky), nebo celotělová chladová terapie aplikovaná v kryokomorách (polárníích). Analgetický, antiedematózní a protizánětlivý efekt kryoterapie je v medicíně již dlouho znám a v praxi se využívá. Princip celotělového ochlazení je u nás zatím stále nový a nabízí široké spektrum tera-

peutických účinků. Výzkumy zabývající se touto metodou přicházejí převážně z německých a polských výzkumných institutů. V těchto zemích je tato metoda již řadu let hojně využívána jak k léčebným účelům, tak k regeneraci svalové tkáně ve vrcholovém sportu. Hlavními léčebnými indikacemi CChT jsou chronická zánětlivá kloubní onemocnění (arthritis rheumatoides, M. Bechtrev apod.), artrózy a polyartrózy, vertebrogenní alergické syndromy, fibromyalgie, kolagenózy, vaskulitidy, následky poškození kloubního, vazivového a svalového aparátu, traumatické postoperační hematomy a otoky, autoimunitní onemocnění a poruchy imunity (sclerosis multiplex, psoriasis vulgaris) (5). Mezi regenerační účinky kryoterapie lze zařadit snížení jak psychické tak fyzické únavy, snížení bolesti, aktivace organismu a imu-

nitního systému. Výzkumy v oblasti vrcholového sportu poukazují na to, že koncentrace krevního laktátu po aplikaci CChT dosahuje při zátěži nižších hodnot, než v případě bez předchozího ochlazení. Dále je dosahováno nižší zátěžové tepové frekvence po aplikaci CChT, nežli v případě bez předchozího ochlazení (7). Tyto poznatky o účinku CChT vedou k závěru, že po aplikaci CChT dochází k rychlejšímu odbourání laktátu ze svalové tkáně a efektnějšímu využití kyslíku ve tkáních. Tím se snižuje srdeční frekvence potřebná při zátěži. Na základě všech publikovaných účinků CChT jsme si položili otázku, zdali se účinek celotělové chladové terapie projeví přímo na elektrické aktivitě svalu ve smyslu oddálení nástupu svalové únavy a zvýšení MVC svalu.

Neurofyzilogie termoregulace v průběhu CChT

Člověk je organismus homoiotermní a udržení stálé vnitřní tělesné teploty je důležité pro zachování aktivity většiny enzymů, protože reagují v malém teplotním rozmezí. Účinkům chladu se organismus brání dvěma způsoby. Dochází jak ke redukci tepelných ztrát (vazokonstrikce), tak ke zvýšené produkci tepla v organismu (svalový třes, bazální metabolismus). Tepelným nárazníkem, orgánem regulace a výdeje tepla je povrchová izolační poikiloterminní vrstva rozličné šíře, ve které jsou uloženy periferní termoreceptory (6). Periferní termoreceptory jsou zakončení tenkých myelinizovaných A- δ nervových vláken, které vedou chladové stimuly do míchy. Vnitřní termoreceptory se nacházejí v preoptické oblasti hypotalamu a v páteřní míše (15). *Povrch těla se působením teploty minus 120 – 130 °C po dobu 2-3 minut ochladí na teplotu kolem 45 °C (5,2 °C v oblasti předloktí), teplota tělesného jádra zůstává zachována (17).* Chlad pronikne kůží a podkožím až do hloubky 1-2 cm, kde zasáhne kromě periferních kožních receptorů i příslušné krevní a lymfatické cévy. Signály termoreceptorů těla i končetin jdou větveji spinolamického traktu do termoregulačního centra v zadním hypotalamu (15). Centrální termoregulační centrum v hypotalamu je zodpovědné za regulaci tělesné teploty jak cestou nervovou, tak cestou humorální. Hypotalamus přijímá a vydává informace do retikulární formace, limbického systému a kůry. Tato spojení umožňují vysoký stupeň integrace somatických i vegetativních funkcí společně s vnímáním doprovodných emocí. V průběhu vnímáním extrémního chladu, vnímáme i silnou emoci, kterou v nás chlad vyvolal. Proto u některých emotivních osob dochází ke křiku jako reakci na extrémní ochlazení. Sníží-li se teplota tě-

lesného jádra pod kritickou hodnotu 37,1 °C, začíná svalový třes. Výsledkem je až čtyřnásobné zvýšení produkce tepla (15). *Vzhledem k tomu, že teplota tělesného jádra v průběhu CChT neklesá pod kritickou hodnotu (17), k mechanismu svalového třesu by nemělo docházet.* Centrální regulační centrum v hypotalamu řídí prostřednictvím sympatiku arteriovenózní anastomózy. Tyto A-V anastomózy jsou širší než periferní arterioly a představují nízkoodporový zkrat, skrze který je regulován průtok krve kůží i kosterními svaly (15). Krev obchází periferii, dochází k centralizaci oběhu a redukci tepelných ztrát. Zvýšení metabolické aktivity je označováno za chemickou termogenezi (neřesovou). Tento typ termoregulace se uplatňuje u homoiotermních organismů vystavených chronickému chladu, a proto se v průběhu akutně působící CChT neuplatní (15).

Stresová reakce v průběhu CChT

Chlad je všeobecně vnímán jako stresový podnět, který spouští poplachovou reakci organismu. Dochází k iritaci sympatického nervového systému a vyplavují se katecholaminy ze dřene nadledvin. Zároveň je popisována aktivace osy hypofýza - nadledviny a zvýšení hladiny plazmatického kortizolu (21). Princip celotělové chladové terapie je v mnohém podobný. Liší se však dobou trvání podnětu, jeho intenzitou a typem stresové reakce. V průběhu CChT působí na člověka chlad mezi minus 110 až 130 °C po dobu 2-3 minut. Tento podnět jistě působí jako stresor a vyvolá při první návštěvě polaria stresovou reakci. Při dalších návštěvách se však organismus adaptuje a stresová reakce probíhá mnohem mírněji. *Výzkumy bylo potvrzeno zvýšené vyplavení noradrenalinu (NA) po aplikaci CChT, které přetrvává ještě po 35 minutách od výstupu z chladové komory. Měřené hodnoty adrenalinu se po aplikaci CChT významně nezměnily. Zároveň nedošlo k významné změně v koncentraci ACTH a kortizolu. Po opakovaných aplikacích došlo dokonce ke sníženému vyplavení ACTH jako známky adaptace organismu (9).* Lze se proto domnívat, že CChT nevyvolává klasickou stresovou reakci organismu vyplavením katecholaminů ze dřene nadledvin. Z tohoto důvodu se lze domnívat, že lehká stresová reakce v průběhu CChT organismus nezatěžuje, ale působí na organismus spíše pozitivně ve smyslu jeho aktivity. Po ukončení chladové expozice stresová reakce doznívá do 30 minut. S doznívajícím účinkem sympatiku přebírá aktivitu parasympatikus, který po proběhlé stresové reakci zajišťuje anabolické procesy v organismu (15).

Reakce cévního systému na CChT

V průběhu celotělové chladové terapie dochází k mohutné vazokonstrikci periferních cév kůže a podkoží. Krev z kapilár, které jsou v kontaktu s nízkou teplotou, je redistribuována do vnitřního oběhu, kde proudí a filtruje se pod vyšším tlakem. Zvýšenou aktivitou sympatiku dochází k mírnému nárůstu srdečního tepu a tlaku krve (18, 19). Po ukončení chladové expozice cévy dilatují, krev z centra proudí pod vysokým tlakem do periferie. Ve 4-5 minutě nastává proces reaktivní hyperémie, při které dochází až k čtyřnásobnému prokrvení kůže, podkoží a svalů (6). Periferní teplota kůže se navrácí k normě až 25 minut po výstupu z chladové komory (17). Tepová frekvence se po aplikaci CChT snižuje a dokonce dosahuje nižších hodnot než před vstupem do chladové komory. *Po výstupu z chladové komory byl pozorován nárůst R-R intervalu srdce, tj. prodloužená doba jednoho úderu srdce k druhému. Snižování srdeční kontraktibility je jedním z ukazatelů kardiální parasymptické modulace, jako důsledek extrémního celotělového ochlazování (19).*

Svalová únava při izometrické kontrakci svalu

Izometrická kontrakce svalu je definována jako takový stah svalu, při kterém není generován pohyb a vzdálenost začátku a úponu svalu se nemění (4). Při izometrické kontrakci dochází ve svalu k omezení krevního průtoku, přísunu kyslíku a živin. Již při kontrakci 30% MVC dochází k omezení průtoku krve svalem a dochází k akumulaci laktátu (3). Nástup svalové únavy je charakterizován těmito procesy: narušení Na^+ - K^+ rovnováhy, změna intracelulárních hodnot pH (zvýšení obsahu laktátu), akumulace anorganického fosfátu, snížení energetických rezerv nutných pro restituci ATP a snížení intracelulární koncentrace (Ca^{2+}). Vzhledem ke složitosti dějů, probíhajících při procesu svalové únavy, byl řadou autorů definován centrální a periferní nástup svalové únavy. Zatímco centrální nástup svalové únavy byl popsán jako časoprostorové snížení aktivity α -motoneuronů ovlivněné vyššími etážemi CNS, periferní nástup svalové únavy je charakterizován poruchou neuromuskulárního přenosu spojenou s intracelulárními změnami metabolismu svalu. Ciba foundation symposium definovalo svalovou únavu takto: 1. porucha rozumového provedení, 2. porucha motorického provedení, 3. vzestup EMG aktivity při prováděném pohybu, 4. posun výkonového spektra směrem k nižším frekvencím, 5. porucha výstupní svalové síly. Parametry doprovázející nástup svalové únavy jsou:

1. vzestup úsilí při udržování výstupní svalové síly, 2. pocit diskomfortu či bolesti související se svalovou aktivitou, 3. vnímání poruchy generované výstupní svalové síly (10). Z hlediska povrchové EMG je využíván pro určení nástupu svalové únavy tzv. index svalové únavy (fatigue index). Tento index definuje nástup svalové únavy jako posun střední hodnoty výkonového spektra v průběhu svalové kontrakce směrem k nižším frekvencím (11).

Maximální volní kontrakce svalu MVC

MVC je taková kontrakce svalu, při které dochází volním úsilím k největší možné aktivaci svalu a produkci maximálního silového momentu. Výstupní svalová síla tedy závisí na množství aktivovaných MJ, síle záškubu MJ a na vzájemné interakci svalových vláken (3). Test MVC je realizován proti statickému odporu v přesně definované poloze, s pevnou fixací jednotlivých segmentů. Délka svalu se tedy nemění. Mění se pouze nábor aktivovaných MJ svalu, a tím roste výstupní svalová síla.

METODIKA

Studie byla provedena v Kryocentru v Praze-Modřanech v kryokomorbě „Arctica“ polské firmy „Cryoflex“ (obr. 1). Tato studie představuje pilotní studii u pěti probandů. Bylo vybráno 5 vrcholových sportovců. Čtyři jsou bobisté a jeden tenista. Všichni ve věku od 20–35 let. Anamnesticky nebyly shledány žádné úrazy ani onemocnění, které by měly dopad na pohybový systém a limitovaly průběh studie. Všech 5 mužů se zúčastnilo studie dobrovolně a souhlasili s publikováním výsledků v tisku. Projekt byl schválen etikou komisí UK FTVS a byl podepsán informovaný souhlas.

Studie obsahovala 3 na sebe navazující měření EMG aktivity svalu m. biceps brachii. Svalová aktivita byla snímána nejprve před vstupem do polaria, 5 min. po výstupu a 30 min. po výstupu. V každ-

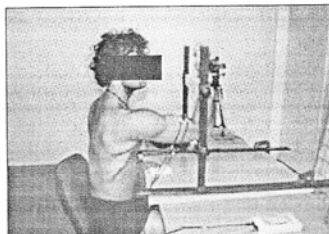


Obr. 1. Kryokomora.

dém ze tří po sobě navazujících měření byla u každého probanda stanovena hodnota MVC (maximální volní kontrakce) svalu. Z této hodnoty byla vypočtena 30% hodnota svalové aktivity, která byla probandem udržována izometrickou kontrakcí po dobu 3 minut. Svalová aktivita na hranici 30 % byla probandem udržována mechanismem zpětné vazby. Proband měl před sebou monitor, na kterém sledoval aktuální hodnotu svalové kontrakce a měl povinnost ji udržet na stanovené 30% hranici.

Popis měření povrchové EMG

Průběh svalové aktivity byl monitorován EMG přístrojem Naroxon/Neurodata s vzorkovací frekvencí 1500 Hz o pásmové propustnosti 50 - 500 Hz. Použitý software—Myoresearch XP Master. Vyšetřované osoby zaujímaly pozici v sedu. Snímaná horní končetina byla v poloze ve flexi 90 ° v kloubu ramenním a flexi 90 ° v kloubu loketním. Odpor proti izometrické kontrakci byl kladen železnou konstrukcí, která udržovala horní končetinu v konstantní pozici a nedovolila jakýkoliv pohyb. Nesnímaná horní končetina byla volně položena na vyšetřovacím stole. Registrační bipolární povrchové elektrody byly umístěny na svalové bříško m. biceps brachii dominantní horní končetiny, a to v místě motorického bodu. Elektrody byly po celou dobu výzkumu zachovány na stejném místě. Nebyly tedy v průběhu chladové expozice odebrány z povrchu kůže (obr. 2).



Obr. 2. Měření povrchové EMG.

Kryokomora

Do kryokomory vstupovali probandí spoře odění v bavlněných trenýrkách, vybavení čelenkou, rukavicemi a rouškou chránící horní dýchací cesty před silným mrazem. Kryokomoru tvoří dvě oddělené místnosti. V předsíni je teplota minus 60-70 °C, v hlavní terapeutické místnosti je běžná provozní teplota minus 120-130 °C. Médium, prostřednictvím kterého vzniká chlad, je tekutá směs oxidu a dusíku v poměru 21:79 %. V předsíni polaria se probandí zdrželi cca 30 sekund, poté pře-



Obr. 3. Vstup do kryokomory, při němž je proband vybaven rouškou chránící dýchací cesty před silným mrazem, čelenkou a rukavicemi.

šli do hlavní kryoterapeutické místnosti, kde setrvali stanovenou dobu 3 minuty (obr. 3).

VÝSLEDKY STUDIE

Vyhodnocení nástupu svalové únavy

Nástup svalové únavy jsme definovali jako pokles frekvence střední hodnoty výkonového spektra EMG signálu o 30 % oproti hodnotě frekvence na začátku každého měření. U čtyř z pěti probandů došlo k oddálenému nástupu svalové únavy v průběhu izometrické kontrakce po aplikaci CChT. Izometrická kontrakce byla měřena před aplikací CChT, poté po 5. a 30. minutě po výstupu z chladové komory. U probandů č. 1-4 došlo k nástupu svalové únavy po aplikaci CChT vždy za delší časový úsek, než před aplikací CChT. Po aplikaci v 5. minutě došlo u druhého a čtvrtého probanda k výraznému prodloužení nástupu svalové únavy až o dvojnásobek naměřené původní hodnoty (před aplikací CChT). U probanda č. 5 nedošlo k nástupu svalové únavy ani v jednom ze tří po sobě jdoucích měření. Nedošlo tedy k poklesu střední hodnoty frekvence o 30 %. Ve 30. minutě byl u všech čtyřech probandů pozorován pokles časového intervalu nástupu svalové únavy zpět k původním hodnotám (tab. 1).

Vyhodnocení MVC

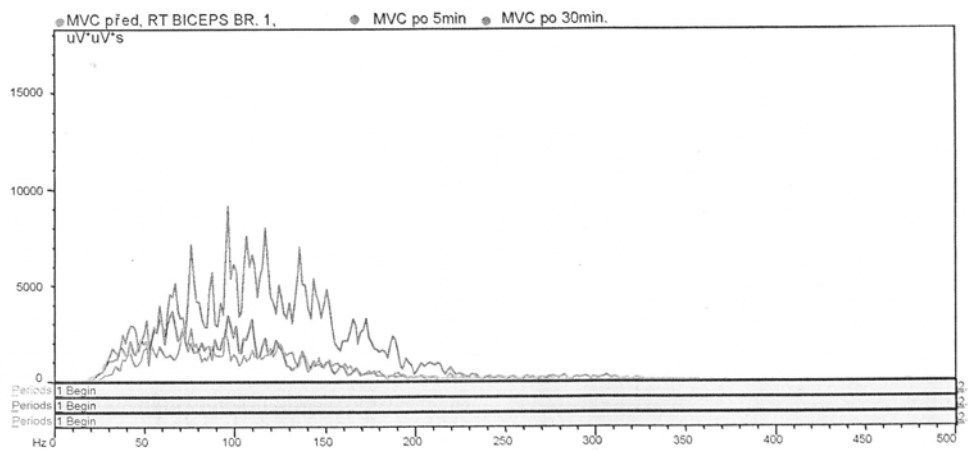
Maximální volní kontrakce svalu byla vyhodnocena před vstupem do chladové komory v 5. a 30. minutě po výstupu z chladové komory. U všech pěti probandů došlo při měření v 5. minutě po aplikaci CChT ke zvýšení MVC. Při měření ve 30. minutě docházelo již ke snížení hodnot MVC oproti naměřeným hodnotám v 5. minutě.

Tab. 1. Vyjadřuje časový interval nástupu svalové únavy v průběhu izometrické kontrakce. Časové hodnoty jsou vyjádřeny v sekundách. U probandů č. 1-4 lze registrovat oddálení nástupu svalové únavy po aplikaci CChT. U probanda č. 2 a č. 4 došlo k oddálení nástupu únavy až o dvojnásobek naměřené původní hodnoty, a proto jsou zvýrazněny modře. U probanda č. 5 nebyla v průběhu měřených 180 sekund registrována svalová únava.

Proband	Izometrie před	Izometrie po 5. min	Izometrie po 30. min
I	70 s	80 s	80 s
II	70 s	130 s	80 s
III	50 s	70 s	60 s
IV	50 s	120 s	90 s
V – bez únavy	180s	180 s	180s

Tab. 2. Naměřené hodnoty MVC jsou zobrazeny v jednotkách mikrovoltů a zaokrouhleny na celá čísla. U všech pěti probandů, došlo při měření v 5. minutě ke zvýšení MVC po aplikaci CChT.

Proband	Před (μV)	5 min. po (μV)	30 min po (μV)
I	3606	4051	4563
II	4441	5154	4752
III	3638	4628	3695
IV	2936	4643	2747
V	1541	2228	1994



Graf 1. Výkonové frekvenční spektrum v průběhu MVC. Zelená křivka - před vstupem do polaria, červená křivka - 5 min. po výstupu, modrá křivka - 30 min. po výstupu z polaria.

Naměřené hodnoty ve 30. minutě však zůstávají u čtyř probandů vyšší, nežli hodnoty naměřené před vstupem do polaria (tab. 2).

V daném intervalu maximální volní kontrakce bylo vyhodnoceno frekvenční spektrum, které hovoří o časoprostorové aktivaci motorických jednotek (MJ) svalu (graf 1). U třech probandů došlo při MVC po aplikaci CChT jak k prostorové sumaci (vyššímu náboru) motorických jednotek svalu, tak k časové sumaci (vybíjení vyššího kmitočtu) MJ svalu. Graf 1 ilustrativně zobrazuje rozložení výkonového frekvenčního spektra v průběhu tří nezávislých maximálních kontrakcí u probanda číslo 1. Zelená křivka vyjadřuje výkonové

frekvenční spektrum v průběhu MVC před vstupem do polaria, červená křivka 5 min. po výstupu a modrá křivka 30 min. po výstupu z polaria. Je zde patrné výrazného zvýšení výkonového frekvenčního spektra v průběhu MVC, vyhodnoceného po 30 minutách po výstupu z polaria.

DISKUSE

Při měření izometrické kontrakce před vstupem do polaria docházelo u všech probandů k pocitům dyskomfortu a bolesti svalu z důvodu narůstající hypoxie a acidózy. Pocity se většinou sho-

dovaly s naměřenými hodnotami. Izometrická kontrakce po 5 minutách po výstupu z polaria byla snášena ze všech měření nejlépe a zároveň bylo dosahováno nástupu svalové únavy za mnohem delší časový interval. Probandi nepocítovali bolest ve svalu a k udržení 30% kontrakce nebylo nutné použít tak velkého úsilí jako v prvním případě. Vzhledem k účinkům CChT na organismus se zde nabízí několik možností, jak si lze danou skutečnost vysvětlit.

1. Sval po absolvované kryoterapii v tomto časovém intervalu ještě nemá svou výchozí teplotu. Dochází zde již k dilataci cév a zvýšenému prokrvení, ale periferní teplota ještě nedosahuje své výchozí úrovně. Návrat povrchové kožní teploty nastává až ve 30. minutě po výstupu z kryokomory (17). Sval se při kontrakci zahřívá a 75 % své energie spotřebuje na své vlastní ochlazení (7). Po předchozím ochlazení svalu nedochází k tak rychlému zahřívání a sval může více energie investovat do mechanismu kontrakce. To může být jeden z důvodů, proč není ve svalu vnímána bolest v průběhu izometrie.
2. Dalším vysvětlením pro snížené vnímání bolesti je stimulace A- δ nervových vláken, které vedou informace o účinku chladu do CNS. Tato vlákna mají více funkcí. Jsou zodpovědná jak za vnímání chladu, ale i bolesti (13). Nabízí se zde více mechanismů sníženého vnímání bolesti. Za prvé může docházet k inhibici vnímání bolesti již na periférii, kde chladová stimulace A- δ nervových vláken přehluší vedení bolestivých vjemů do míchy. Druhá možnost je centrální inhibice, kdy dochází k útlumu přenosu bolestivých vjemů mechanismem presynaptické inhibice míšních interneuronů, které vedou bolestivé podněty do CNS. Jinými slovy, dojde k uzavření vrátek a sníženému vnímání bolesti stimulací silných a rychle vedoucích vláken typu A (2).
3. Nesmíme také opomenout proces reaktivní hyperémie. Ve svalu dochází ve 4.-5. minutě ke čtvornásobnému prokrvení (6). Sval má zvýšený přísun kyslíku a živin. Dochází k odplavení produktů metabolismu (laktátu) a k normalizaci hodnoty pH. Sval proto není zatížen acidózou a hypoxií, které jsou hlavními parametry omezující jeho výkonnost.
Další otázkou je, jakým mechanismem dochází v 5. minutě po aplikaci CChT ke zvýšené MVC svalu. Nabízejí se dvě skutečnosti, které se mohou současně doplňovat. Na periférii dochází k procesu dilatace cévního řečiště a ke zvýšenému prokrvení svalů (obohacení tkání o kyslík a ži-

viny), zároveň dochází k centrální aktivaci α -motoneuronů z CNS. Z dostupné literatury se lze dočíst, že při činnosti svalu se aktivují jednotlivé motorické jednotky asynchronně postupným náborem MJ v lineární závislosti na vyvíjeném úsilí. Zvyšování úsilí probíhá „prostorovou sumací“ aktivních neuronů, tzv. rekrutací, tj. stoupajícím náborem počtu aktivovaných motoneuronů ve svalu. Při vyvíjení nadměrného úsilí při svalové kontrakci dochází k „časové sumaci“, tj. MJ se vybíjejí vyšším kmitočtem než obvykle. Ani při maximálním úsilí však nedochází k aktivaci všech MJ. Stává se tak při nebezpečích ohrožení života, nebo při maximálních emocích (16). Tato maximální emoce přichází v průběhu vnímání maximálního podnětu, kterým teplota minus 130 °C zajisté je. Organismus reaguje aktivací, která vychází z limbického systému a prostřednictvím retikulární formace dochází k aktivaci míšních α -motoneuronů. Touto cestou dojde k aktivaci „spících“ MJ, které se za běžných situací do maximální kontrakce nezapojí (16). Frekvenční spektrum vyhodnocené v daném intervalu MVC ukazuje, že k časoprostorové sumaci MJ svalu po aplikaci CChT opravdu dochází. Vzhledem k malému počtu probandů nelze tento jev pokládat za potvrzený. Lze se však domnívat, že na určité jedince chlad působí zvýšením centrální aktivační úrovně, jejímž vlivem dochází k nadměrné aktivaci MJ, a tím k produkci maximální možné volní kontrakce svalu. Ve 30. minutě dochází k postupnému snižování hodnoty MVC u všech pěti probandů. Snížení hodnoty MVC ve třetím měření si lze vysvětlit periferním nástupem svalové únavy a centrálním snížením aktivační úrovně organismu, a to v důsledku odeznění působení extrémního podnětu. Proband již není schopen volním úsilím ke generaci silového momentu původní intenzity jak z důvodu zvýšeného katabolismu svalu a vyčerpání důležitých substrátů (Ca^{2+} , ATP), tak z důvodu snížení centrální aktivace.

ZÁVĚR

Cílem této pilotní studie bylo objasnění účinku extrémního chladu na svalovou tkáň pomocí povrchové EMG. Zaměřili jsme se na detekci změny elektrické aktivity svalu po aplikaci CChT. Vzhledem k naměřeným výsledkům lze potvrdit, že ke změně elektrické aktivity svalu po aplikaci CChT opravdu dochází, a to ve smyslu oddálení nástupu svalové únavy a zvýšení MVC. Těchto účinků lze pozitivně využít jak v oblasti vrcholového sportu, tak v oblasti léčebně - rehabilitační.

Proto je metoda CChT svými účinky nápomocná při léčbě mnohých onemocnění, projevujících se svalovým oslabením (myopatie, RS) či zánětlivým kloubním onemocněním (arthritis rheumatoides). V oblasti vrcholového sportu slouží metoda CChT jako prevence svalové únavy po náročném sportovním výkonu. Představenou pilotní studií bychom rádi přispěli k procesu vědecky podložených informací o chování svalové tkáně po aplikaci celotělové chladové terapie. Zároveň doufáme, že tento příspěvek bude do budoucna vhodným stimulem pro studie následující.

Poděkování:

Děkujeme Kryocentru v Praze - Modřanech, které nám poskytlo kryokomoru a prostor pro realizaci této studie. Rovněž děkujeme probandům, kteří dali souhlas k provedení experimentu na jejich vlastním organismu.

Příspěvek vznikl s podporou VZ MŠMT ČR MSM 0021620864.

LITERATURA

1. AMBLER, Z.: Neurologie pro posluchače všeobecného lékařství. Praha, Státní pedagogické nakladatelství, 1990, s. 6-22.
2. ČIHÁK, R.: Anatomie 3. Praha, Grada Publishing, 2004, s. 325-467.
3. DELUCA, C. J.: The use of surface electromyography in biomechanics. 1993. <http://www.delsys.com/KnowledgeCenter/Tutorials.html>
4. DYLEVSKÝ, I.: Obecná kineziologie. Praha, Grada Publishing, 2007, s. 159-173.
5. GROMNICA, R., ŠMUK, L., BAJGAR, M., DUDYS, R.: Metoda celotělové chladové terapie poprvé v ČR. Rehabil. fyz. Lék., roč. 12, 2005, č. 4, s. 3-4.
6. JANDOVÁ, D.: Neurofyziologie termoregulace. Studijní materiál 3. ročníku fyzioterapie. Praha, 2006.
7. JOCH, W., ÜCKERT, S., FRICKE, R.: Bedeutung kurzfristig und hoch dosierter Kalteapplikation. BISP-Jahrbuch, Institut für Sportwissenschaft. Universität Münster, 2003, s. 245-252.
8. KRAUSE, B. A., HOPKINS, J. T., INGERSOLL, CH. D., CORDOVA, M. L., EDWARDS, J. E.: The relationship of ankle temperature during cooling and rewarming the human soleus H reflex. J. Sport. Rehabil., 9, 2000, s. 253-262.
9. LEPPALUOTO, J., WESTERLUND, T., HUTTUNEN, P., OKSA, J., SMOLANDER, J., DUGUE, B.: Effects of long-term whole-body cold exposures on plasma concentrations of ACTH, beta-endorphin, cortisol, catecholamines and cytokines in healthy females. The Scandinavian Journal of Clinical & Laboratory Investigation, 68, 2008, 2, s. 145-153.
10. PÁNEK, D., PAVLŮ, D., ČEMUSOVÁ J.: Rychlost vedení akčního potenciálu svalu jako identifikátor nástupu svalové únavy v povrchové elektromyografii. Rehabil. fyz. Lék., roč. 16, 2009, č. 3, s. 96-101.
11. PÁNEK, D., PAVLŮ, D., ČEMUSOVÁ J.: Počítačové zpracování dat získaných pomocí povrchového EMG. Rehabil. fyz. Lék. s. roč. 16, 2009, č. 4, s. 139-149.
12. PAPPENFUSS, W.: Die Kraft aus der Kälte, Ganzkörperkältetherapie bei -110 °C. Regensburg, Edition K, 2005, s. 15-49.
13. PFEIFER, J.: Neurologie v rehabilitaci. Praha, Grada Publishing, 2007, s. 183-186.
14. PODĚBRADSKÝ, J., VÁŘEKA, F.: Fyzikální terapie II. Praha, Grada Publishing, 1998, s. 76.
15. TROJAN, S.: Lékařská fyziologie. Praha, Grada Publishing, 2003, s. 423-430.
16. VELE, F.: Přehled klinické kineziologie a patokineziologie pro diagnostiku a terapii poruch pohybové soustavy. Praha, Triton, 2006, s. 46-96.
17. WESTERLUND, T., OKSA, J., SMOLANDER, J., MIKKELSSON, M.: Thermal responses during and after whole-body cryotherapy (-110°C). Journal of Thermal Biology, 28, 2003, s. 601-608.
18. WESTERLUND, T., SMOLANDER, J., KOSKINEN, A. U., MIKKELSSON, M.: The blood pressure responses to an acute and long-term, whole-body cryotherapy (-110°C) in men and women. Journal of Thermal Biology, 29, 2004, s. 285-290.
19. WESTERLUND, T., UUSITALO, A., SMOLANDER, J., MIKKELSSON, M.: Heart rate variability in women exposed to very cold air (-110 °C) during whole-body cryotherapy. Journal of Thermal Biology, 31, 2006, s. 342-346.
20. WESTERLUND, T., OKSA, J., SMOLANDER, J., MIKKELSSON, M.: Thermal responses during and after whole-body cryotherapy (-110 °C). Journal of Thermal Biology, 28, 2003, s. 601-608.
21. ZEMAN, V.: Adaptace na chlad u člověka. Praha, Galén, 2006, s. 43-63.

*Bc. Helena Krumlová
Katedra fyzioterapie FTVS UK
J. Martino 31
162 52 Praha 6*