

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury



Fakulta
tělesné kultury

FYZIOLOGICKÉ VLIVY POZÁTĚŽOVÉHO PONOŘENÍ DO STUDENÉ VODY NA LIDSKÝ ORGANISMUS

Bakalářská práce

Autor: Tomáš Svoboda

Studijní program: Rekreologie

Vedoucí práce: Mgr. Filip Neuls, Ph.D.

Olomouc 2023

Bibliografická identifikace

Jméno autora: Tomáš Svoboda

Název práce: Fyziologické vlivy pozátěžového ponoření do studené vody na lidský organismus

Vedoucí práce: Mgr. Filip Neuls, Ph.D.

Pracoviště: Katedra přírodních věd v kinantropologii

Rok obhajoby: 2023

Abstrakt:

Úvod: Ponoření do studené vody je často využívanou regenerační metodou jak mezi sportovci tak mezi běžnou populací. Z důvodu krátké možnosti regenerace mezi tréninky a soutěžemi se hledají metody, které mohou pomoci. *Cíl:* Cílem této práce bylo vytvořit systematický přehled randomizovaných kontrolovaných studií zkoumajících fyziologické reakce organismu na pozátěžové ponoření do studené vody a dále hodnotit vliv na celkovou regeneraci, svalovou sílu, poškození a bolestivost svalů. *Metodika:* Práce je psána jako systematický přehled. K vyhledávání randomizovaných kontrolovaných studií byla využita databáze ProQuest. K finální analýze bylo vybráno 17 studií. *Výsledky:* Ponoření do studené vody má pozitivní vliv na krátkodobou regeneraci, ale může negativně ovlivnit dlouhodobou tréninkovou adaptaci. Dále se objevuje pozitivní vliv na zvýšení svalové síly. Nejlepší efekt mělo ponoření na bolestivost svalů. Pro pozitivní ovlivnění svalového poškození není ponoření ideální volbou. *Závěry:* Ponoření do studené vody o teplotě 5-15 °C a délce trvání 5-15 minut využitě ihned po výkonu je dobrou volbou k podpoře krátkodobé regenerace a zmírnění bolestivosti svalů.

Klíčová slova:

Otužování, fyziologické reakce, studená voda, chlad, regenerace, svalové poškození, bolestivost svalů

Souhlasím s půjčováním práce v rámci knihovních služeb.

Bibliographical identification**Author:** Tomáš Svoboda**Title:** The physiological impact of post-exercise cold water immersion on humans**Supervisor:** Mgr. Filip Neuls, Ph.D.**Department:** Department of Natural Sciences in Kinanthropology**Year:** 2023**Abstract:**

Introduction: Cold water immersion is a frequently used regeneration method among athletes as well as among the general population. Due to the short possibility of regeneration between trainings and competitions the athletes search for methods that can help. *Objective:* The main of this bachelor thesis was to create systematic review of randomized controlled trials investigating physiological impact of post-exercise cold water immersion and further evaluate the effect on the overall regeneration, muscle strength, muscle damage and soreness. *Methodology:* The thesis is written as a systematic review. The ProQuest database was used for searching relevant randomized controlled trials. Seventeen studies were selected for the final analysis. *Results:* Cold water immersion has a positive effect on short-term regeneration but can negatively affect long-term training adaptation. There is also a positive effect on increasing muscle strength. And the best effect had immersion on muscle soreness. Immersion is not ideal choice for affecting muscle damage. *Conclusion:* Cold water immersion at a temperature of 5-15 °C and a duration of 5-15 minutes used immediately after the exercise is a good choice to promote short-term recovery and relieve muscle soreness.

Keywords:

Cold water immersion, physiological impact, cold water, cold, regeneration, muscle damage, muscle soreness

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

Prohlašuji, že jsem tuto práci zpracoval samostatně pod vedením Mgr. Filipa Neulse, Ph.D., uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržoval zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 20. června 2023

.....

Děkuji vedoucímu práce Mgr. Filipu Neulsovi, Ph.D., za pomoc a cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

Obsah

1	Úvod	8
2	Přehled poznatků	9
2.1	Otužování.....	9
2.2	Historie otužování.....	9
2.2.1	Významné osobnosti	10
2.3	Termoregulační systémy těla.....	11
2.3.1	Mechanismy zvyšování a snižování teploty organismu	13
2.4	Adaptace celého těla na studenou vodu	16
2.5	Obecné reakce jednotlivých tělních systémů na chlad	18
2.5.1	Metabolická reakce	18
2.5.2	Myokard a kardiovaskulární systém	18
2.5.3	Nervový systém a diving reflex.....	18
2.5.4	Pohybový aparát.....	19
2.5.5	Kůže	19
2.5.6	Funkce ledvin.....	21
2.5.7	Hormony štítné žlázy a kůry nadledvin.....	21
2.5.8	Imunologická reakce.....	22
2.6	Reakce systémů zapojených do svalové práce na změnu teploty	23
2.6.1	Svalová tkáň.....	23
2.6.2	Kardiovaskulární systém.....	24
2.6.3	Respirační systém	24
2.6.4	Nervový systém	25
2.7	Negativa a rizika otužování	25
2.7.1	Rizikové teploty pro organismus	25
2.7.2	Hypotermie.....	26
2.8	Využití otužování	27
2.9	Obecné metodiky otužování	28
2.9.1	Otužování vzduchem	29
2.9.2	Otužování vodou	29
2.9.3	Kryoterapie/kryokomora	32

2.10	Metodiky otužování ve sportu.....	32
2.11	Benefity otužování.....	33
2.11.1	Benefity otužování generalizované na celý organismus	34
2.11.2	Tréninkové benefity otužování.....	35
3	Cíle	37
4	Metodika	38
5	Výsledky	40
5.1	Charakteristika vybraných studií	40
5.2	Charakteristika účastníků studií	41
5.3	Design studií	41
5.4	Porovnání vybraných studií	42
6	Diskuse	56
7	Závěry.....	59
8	Souhrn.....	60
9	Summary	61
10	Referenční seznam.....	62

1 ÚVOD

Ponoření do studené vody je finančně přijatelnou a bezpečnou metodou využívanou mezi sportovci, ale i běžnou populací ke zmírnění následků po podaném výkonu. Nejčastěji je využito k minimalizaci bolestivosti svalů po výkonu (delayed onset of muscle soreness, DOMS). Pro sportovce je regenerace důležitou součástí celého tréninkového programu a snaží se z ní vytěžit maximum. Často jsou limitováni krátkou dobou mezi náročnými tréninky, proto hledají metody, které jim v tom pomohou. Ponoření do studené vody může být dobrou pomůckou právě v krátkých pauzách mezi výkony.

S chladem však můžeme pracovat v různých souvislostech a z toho plyne i nejednotnost využívaných pojmenování. I v této práci bylo využito více pojmů, které označují určitý proces, kdy se pracuje s chladnou vodou.

Jedním pojmem je otužování, které Zeman (2006) definuje jako činnost, jejímž výsledkem má být schopnost organismu správně a pohotově reagovat na klimatické výkyvy zevního prostředí. Je to tedy činnost, která by měla působit především preventivně.

Dalším pojmem je negativní termoterapie. Ta je definována jako odnímání tepla z povrchu organismu s léčebným účelem (Navrátil, 2019; Poděbradský & Poděbradská, 2009). Je tedy využívána k řešení problémů různé etiologie, případně zranění, kdy může být využita i ve sportovním prostředí.

V české literatuře můžeme tedy najít dva výše zmíněné pojmy, které popisují práci s chladem. V anglické literatuře je nejčastěji využíváno pojmu cold water immersion (CWI). S tímto pojmem a zkratkou se bude pracovat i v následujícím textu a byl využit k vyhledávání anglických zdrojů. V anglické literatuře se však objevují ještě další pojmy, které hrubě popisují teplotu použité vody nebo hloubku ponoření. Patří mezi ně TCWI = total cold-water immersion (celkové ponoření do studené vody), TWI = temperate water immersion (ponoření do vody o mírné teplotě) nebo CWT = contrast water therapy (kontrastní terapie).

V teoretické části práce je rozebráno, co je to otužování a jeho historie, termoregulační systémy těla, reakce organismu na chladový podnět, metodiky pracující s chladem, jejich obecné využití a využití ve sportu.

V druhé části bylo analyzováno 17 studií, využívajících pozátěžového ponoření do studené vody. Byl hodnocen vliv ponoření na celkovou regeneraci, svalovou sílu, poškození a bolestivost svalů.

2 PŘEHLED POZNATKŮ

2.1 Otužování

„Pod pojmem otužování rozumíme zpravidla činnost, jejímž výsledkem má být schopnost organismu správně a pohotově reagovat na klimatické výkyvy zevního prostředí“ (Zeman, 2006, p. 9). Otužování je jednou z možností prevence nemocí z nachlazení. Podstatou je adaptace organismu na vlivy zevního prostředí (Zeman, 2006). Autor dále tvrdí, že adaptace organismu na vlivy jako teplota, barometrický tlak a sluneční záření je rychlejší, pokud je podpořena pohybovou aktivitou. Mezi možnostmi, které můžeme k otužování využít, patří pouhý pohyb ve venkovním prostředí, plavání nebo sprchování studenou vodou, případně sauna (Zeman, 2006).

Negativní termoterapie či otužování je definováno jako odnímání tepla z povrchu organismu s léčebným účelem (Navrátil, 2019; Poděbradský & Poděbradská, 2009). Metodu využívající teplotu 0 °C a nižší definují Poděbradský a Vařeka (1998) jako kryoterapii. A dodávají že někteří autoři řadí mezi procedury kryoterapie i procedury s vyšší teplotou, jiní však procedury s teplotou ještě nižší. Můžeme je dělit podle plochy působení na lokální a částečné a podle fyzikálních pochodů, kterými budeme odnímat teplo z organismu (kondukcí, konvekcí, evaporací), (Poděbradský & Poděbradská, 2009).

2.2 Historie otužování

Historie otužování se váže k historii lidstva, otužování vývoj lidstva provázelo (Zeman, 2006). Podle jeho tvrzení otužování mělo a má na člověka dvojitý vliv podle toho, jak si člověk jeho působení uvědomuje a využívá ho. Jednak jsme v pasivní roli, kdy na nás působí okolní vlivy prostředí a my se s nimi musíme vyrovnat, abychom přežili. V aktivní roli se člověk objeví v momentě, kdy si uvědomí, že účelné vystavování se nepříznivým podmínkám zvyšuje jeho otužilost a přináší určité výhody (Zeman, 2006).

Podle Poděbradského a Vařeky (1998) se předpokládá, že voda byla první energií, kterou začal člověk využívat pro svůj prospěch. Odhaduje se tak na základě až 20 000 let starých archeologických vykopávek. Dále tvrdí, že jako první začal využívat vodu k léčbě čínský lékař Koung-Fou. Poděbradský a Poděbradská (2009) dodávají, že hydroterapeutické procedury byly spojovány s očištěním těla, nabytím síly a náboženskými obřady.

2.2.1 Významné osobnosti

Mezi osobnosti, které využívaly otužování pro svůj prospěch, se podle Zemana (2006) řadí již Sokrates nebo Seneca mladší. O obou píše, že byli velice otužilí. A dodává, že Sokrates například po celý rok chodil bos, naproti tomu Seneca se celý rok koupal v Tibeře. Již zde můžeme vidět rozdílné způsoby a metody otužování (Zeman, 2006). Dalším představitelem antické doby je Hippokratés z Kósu (Navrátil, 2019). A popisuje zdokonalení využívání vody spolu s dalšími procedurami u Římanů. Jejich lázně byly zpočátku skromné a využívaly pouze studenou vodu, s postupem doby se do lázní dostala i voda teplá a další tepelné procedury (Navrátil, 2019). A dodává, že lázně nesplňovaly pouze svůj primární účel, ale byly místem společenským ve všech ohledech. Po zániku Západořímské říše docházelo k zániku lázeňství, ale došlo k převzetí umění lázeňství Araby a Turky, kteří preferovali tepelné procedury (Navrátil, 2019). K dalšímu rozvoji lázeňství podle Navrátila (2019) docházelo pomalu a o znovunavrácení vodoléčebných procedur se zasloužil John Floyer, který využíval vodu studenou. Vodoléčba se stala znovu oblíbenou až v 18. století a ve druhé polovině 19. století začíná být hydroterapie podložena prvními vědeckými pracemi (Navrátil, 2019).

I v době nám bližší se objevuje několik osobností, které využívaly otužování pro vlastní prospěch, ale začaly studenou vodu využívat také jako léčebnou metodu (Poděbradský & Vařeka, 1998; Zeman, 2006). V Českých zemích se objevuje Vincenz Priessnitz, zakladatel moderního způsobu vodoléčby a zakladatel léčebného ústavu v lázních Jeseník, oficiálně vznikajícího v roce 1837 (Poděbradský & Vařeka, 1998; Zeman, 2006). Podle Navrátila (2019) v terapii využíval léčbu prací, čerstvým horským vzduchem, čistou horskou vodou i potními kůrami. Říká se, že ho k využívání vody inspirovala zraněná srna. Dalším byl německý farář Kneipp, následovník Priessnitze (Navrátil, 2019). Jeho metodu můžeme označit termínem „knajpování“, spočívala v procházení se studenou vodou či rosou a v pobytu v přírodě (Zeman, 2006). Kneipp oproti Priessnitzovi svoje metody publikoval (Navrátil, 2019). Mezi další odborné představitele, kteří se zabývali otužováním a jeho účinky, patří čeští lékaři doc. MUDr. Antonín Šlechta a doc. MUDr. Jan Špott. Antonín Šlechta jako první v Čechách podložil vodoléčbu vědeckou prací a založil vodoléčebný ústav po vzoru Priessnitze. Jan Špott také po zkušenostech z dnešního Jeseníku založil v Praze nemocnici pro přírodní léčení (Navrátil, 2019). K. Chodounský a L. Syllaba byli dalšími českými lékaři, kteří již na začátku 20. století přisuzovali otužování vliv v prevenci chorob z nachlazení (Zeman, 2006).

Kromě otužování jako léčebného prostředku se u nás v 19. a 20. století začalo objevovat zimní otužování (Zeman, 2006). Mezi průkopníky řadí Alfréda Nikodéma, který již v roce 1923 v zimě přeplaval Vltavu a otužilecký sport vedl až do roku 1949, kdy na jeho místo nastoupil

Oldřich Liška. Zimní otužování se velice rozšířilo po 2. světové válce jako sportovní otužování (Zeman, 2006). K zakládání otužileckých klubů docházelo i v jiných zemích, jako jsou Anglie, Francie, Belgie, skandinávské země, Polsko, Německo, Maďarsko a země bývalého Sovětského svazu (Zeman, 2006). Jako pojmenování pro tuto otužileckou činnost se vžilo zimní plavání a v České republice se pořádají soutěže (Zeman, 2006). Podle Zemana (2006) jsou důležitými parametry při soutěžích teplota vody (ledová 4 °C a méně, studená 4,1-8 °C, chladná 8,1-12 °C), délka tratě (100, 250, 500, 750 a 1000 metrů) a maximální časový limit pro pobyt ve vodě stanovený na jakékoli trati na 22 min. Dalším odvětvím v plaveckých sportech, který má vztah ke sportovnímu otužování, je plavání dálkové, k jehož rozvoji došlo rovněž po 2. světové válce (Zeman, 2006). V dálkovém plavání je nutností dokonalá plavecká technika a vytrvalost, ale také otužilost, protože se plave ve vodách pod 20 °C, kdy většina lidí nepocítuje tepelný komfort a s prodlužující se dobou strávenou ve vodě se účinek chladu na organismus násobí (Zeman, 2006). Mezi významné osobnosti, které se zapsaly do historie českého zimního a dálkového plavání, se řadí František Venclovský, který byl prvním českým přemožitelem kanálu La Manche (Zeman, 2006).

2.3 Termoregulační systémy těla

Člověk může žít pouze v tepelném rozmezí, které je důležitým předpokladem pro život, i tak ale vyšší organismy spotřebují velké množství energie na udržování tepelné homeostázy, stálé vnitřní teploty těla. Proto je nutné udržet v rovnováze tepelný příjem a výdej (Kittnar et al., 2021; Navrátil, 2019). Výdej, ke kterému dochází skrze kůži, je nutný z toho důvodu, že organismus teplo stále produkuje, ale nesmí být nadměrné (Kittnar et al. 2000; Poděbradský & Vařeka, 1998). K tomu nám pomáhá termoregulace, která se snaží udržet v našem tělesném jádru teplotu 37 °C (Navrátil, 2019). Jedná se o teplotu, při které ideálně fungují biochemické, metabolické procesy a další děje k zajištění funkce organismu (Poděbradský & Vařeka, 1998; Rokyta et al., 2008). Tyto procesy se mohou zrychlovat nebo zpomalovat v závislosti na potřebách termoregulace (Rokyta et al., 2008).

Člověka můžeme tedy označit za homoiotermního, teplokrevného, nezávislého na teplotě okolí (Navrátil, 2019; Poděbradský & Vařeka, 1998). Homoiotermní je naše jádro tvořící 65 % tělesného objemu a skládající se z orgánů dutiny břišní, hrudní a lební (Poděbradský & Vařeka, 1998). Teplota tělesného jádra kolísá mezi 39–40 °C kvůli působení termoregulačních dějů vlivem metabolických pochodů a velikosti průtoku arteriální krve (Kittnar et al., 2021; Rokyta et al., 2008). Teplota tělesného obalu je více závislá na teplotě okolí (Kittnar et al., 2021). Tělesný

obal složený z kůže, podkoží a akrálních částí končetin se chová studenokrevně – poikilotermně. Chová se jako izolátor mezi vnitřním a zevním prostředím (Poděbradský & Vařeka, 1998).

Na průměrné celkové teplotě jedince se podílí termoregulační mechanismy, teplota okolí a biorytmy (Kittnar et al., 2021; Zeman, 2006). Jedná se o střídání cirkadiálního rytmu ve dne a v noci a u žen menstruačního cyklu (Kittnar et al., 2021), dále k tomu přispívá aktivita organismu a sekrece hormonů (Rokyta et al., 2008). Významnou roli hraje i celkový stav člověka, který je dán i kvalitou spánku, protože nevyspalý jedinec snáší tepelné výkyvy hůř (Zeman, 2006).

Teplota je nejčastěji měřena v axile, dále v ústech, v rektu nebo vagině a její normální hodnoty se pohybují v rozmezí 36-37 °C (Kittnar et al., 2020; Navrátil, 2019). Axilární teplota je za fyziologických podmínek o 0,5 °C nižší než teplota skutečná, teplota jádra (Poděbradský & Vařeka, 1998; Rokyta et al., 2008). K zachycení změn teploty jádra se využívá měření rektální teploty (Rokyta et al., 2008).

K výměně tepla mezi vnitřním a vnějším prostředím se využívá fyzikálních mechanismů: kondukce (vedení), konvekce (proudění), radiace (sálání), evaporace (odpařování), (Navrátil, 2019). Při kondukcí dochází k výměně tepla mezi sousedními částicemi teplejšího a studenějšího objektu (Kittnar et al., 2021; Poděbradský & Vařeka, 1998), důležitá je tedy jejich tepelná vodivost (Kittnar et al., 2021). Pokud se budeme bavit o lidském organismu, tak kondukce probíhá mezi slupkou a okolním prostředím (Poděbradský & Vařeka, 1998), využívá se ohřáté vrstvičky vzduchu kolem těla a proudícího vzduchu okolí (Kittnar et al., 2016). Konvekce je mechanismem výměny tepla především u kapalin a plynů, dochází ke změnám polohy molekul po změně tepelného obsahu. Tohoto mechanismu je využíváno při výměně tepla v organismu pomocí krevního proudu (Poděbradský & Vařeka, 1998). Během radiace se tepelná energie mění na záření, které se šíří prostorem ve formě elektromagnetických vln (Kittnar et al., 2021; Poděbradský & Vařeka, 1998). Množství přenesené energie závisí na teplotě povrchu daných objektů (Kittnar et al., 2021). Chladnější objekt teplo přijímá, teplejší teplo vydává (Kittnar et al., 2016). U člověka se díky záření přeneše asi polovina tepla (Kittnar et al., 2021). Přeměnou skupenství je tepelná energie z těla odváděna odpařováním, tohoto mechanismu se využívá v podmínkách s vyšší teplotou, než je teplota těla (Kittnar et al., 2021), a při namáhavé práci (Kittnar et al., 2016). Využívá se odpařující vody z povrchu těla, která vystupuje buď difúzí nebo potními žlázami (Kittnar et al., 2016). Množství takto odvedené energie závisí na vlhkosti a intenzitě pohybu vzduchu (Kittnar et al., 2021) a je jediným účinným mechanismem k ochlazení těla při teplotách nad 36 °C (Kittnar et al., 2016).

Výměna tepla mezi organismem a okolím na vzduchu se děje na 50-80 % povrchu těla a 10 % dýchacích cest (Poděbradský & Vařeka, 1998). Při vzestupu teploty jádra dojde k transportu tepla v těle vazodilatací v kůži a dochází k přesunu žilní krve v končetinách do povrchového

systemu a zvýšení sekrece potu (Kittnar et al., 2016). Díky tomu dochází k ochlazení kůže a možnému přesunu tepla do ní. Ve vodě je využíváno kondukce (vedení) a konvekce (proudění), (Poděbradský & Vařeka, 1998). Autoři dále uvádějí, že ztráta tepla ve vodě je 28x vyšší než na vzduchu. Vnitřní prostředí těla chrání obalová vrstva přiléhající na povrch těla, která funguje jako izolační vrstva, protože při nehybnosti se teplota této vrstvy přiblíží teplotě těla (Poděbradský & Vařeka, 1998).

Hlavním orgánem termoregulace organismu obsahující centrální termoreceptory a přijímající aferentní informace o teplotě jádra, z termoreceptorů vnitřních (v míše) a obalu z termoreceptorů kožních (chladové a tepelné) je hypothalamus fungující na principu termostatu, který kombinuje informace z těchto čidel a informace z mozku a udržuje teplotu pouze v daném rozmezí (Kittnar et al., 2021; Navrátil, 2019). Toto rozmezí tělesné teploty je komfortní bez potřeby výrazných termoregulačních zásahů (Kittnar et al., 2021). Po překročení normálních hranic tělesné teploty dochází k regulaci (Rokyta et al., 2008). K selhání hypothalamu dochází při velkých výkyvech teplot tělesného jádra (Navrátil, 2019). Jako reakce na tento stav se objevují nejdříve funkční poruchy a později poruchy organické (Poděbradský & Vařeka, 1998).

2.3.1 Mechanismy zvyšování a snižování teploty organismu

Ztráty tělesného tepla a jejich velikost záleží hlavně na rozdílu teplot kůže a okolního chladného prostředí (Zeman, 2006). Proti tělesným ztrátám tepla jsme schopni se chránit buď tím, že zvětšíme izolační schopnosti povrchu těla, nebo navýšíme tvorbu tepla (termogenezi) díky pomoci mechanismů, jako je vazokonstrikce, změna složení těla, chování a oblékání, záleží také na povrchu těla vůči hmotnosti a na pohlaví (Zeman, 2006).

Vazomotorická regulace se využívá ke snížení či zvýšení výdeje tepla na základě změny prokrvení povrchových vrstev (Kittnar et al., 2021). Vazokonstrikce bývá první reakcí na chlad, kterou jsme schopni u člověka pozorovat a objevuje se, pokud jsme vystaveni extrémnímu chladu (Zeman, 2006). Zároveň je popisována jako adaptační mechanismus při dlouhodobém vystavování se chladu uplatňující se v tkáních pokrývajících povrch těla, v kůži, podkoží i neaktivních svalech. Vazokonstrikce ve svalech zlepšuje izolaci až o 85 %, díky tomu jsme schopni v chladném prostředí vydržet delší dobu, pokud zůstaneme v klidu (Zeman, 2006). Při pohybu v chladné vodě dochází k větším ztrátám tepla kvůli prokrvení periferie, ale u osob, které byly ve vodě v klidu, se větší prokrvení periferie objeví po výstupu z vody (Zeman, 2006). Prokrvená periferie odevzdává do okolí značnou část tepla a dochází k poklesu rektální teploty (Kučera et al., 1999). Vazodilatace je negativní ve smyslu zvýšené ztráty tepla díky prokrveným svalům,

zároveň však brání akraální části těla proti omrzlinám a je nutná pro funkci rukou v chladu (Zeman, 2006).

Dalším mechanismem, který bojuje proti ztrátě tepla a objevuje se až po dlouhodobějším vystavování se chladu, je změna složení těla ve smyslu zvětšení vrstvy podkožního tuku, působí jako dobrý izolant kvůli jeho nízké tepelné vodivosti a vaskularizaci (Zeman, 2006). Dále udává, že milimetr podkožního tuku umožní zvládnout o jeden až dva stupně Celsia nižší teplotu vzduchu a i ve vodě hraje podkožní tuk velkou roli. Jeho celkové procento mění kritickou teplotu vody pro člověka, protože pro člověka se čtyřmi procenty podkožního tuku je kritická teplota vody 35 °C, ale pro člověka s dvaceti procenty podkožního tuku se tato teplota sníží na 32 °C (Zeman, 2006). Dále tvrdí, že podkožní tuk je sice díky svým vlastnostem velmi dobrým izolantem, ale nemůže být dostatečným izolantem v extrémních teplotách. Podle Zemana (2006) dochází k výrazným změnám hmotnosti u otužilců převážně v prvním roce vystavování se chladu, je to dáno i větším procentem podkožního tuku. V dalších letech už k výrazným změnám hmotnosti nedocházelo. Otužování však nemusí znamenat větší tukové zásoby proti lidem, kteří se neotužují (Zeman, 2006).

K tomu, abychom zabránili ztrátám tepla, můžeme využít i zvýšenou tvorbu tepla neboli termogenezi. Produkce tepla v organismu je možná díky třesové termogenezi (zvýšením svalového tonu a svalového třesu) a netřesové termogenezi, zvýšením tvorby tepla na základě zvýšeného metabolismu (Kittnar et al., 2021; Zeman, 2006). Teplo získané funkcí svalů potřebné k termoregulaci se nazývá fakultativní termogeneze (Kittnar et al., 2021). Tyto mechanismy nemají stejnou účinnost. Negativem je to, že oba mechanismy způsobují i prokrvení povrchových částí těla a dochází tak ke ztrátě tepla. Netřesová termogeneze představuje pro člověka účinnější metodu tvorby tepla, je dána působením katecholaminů, hlavně noradrenalinu a větší účinnost se objevuje se zvyšující se hmotností a u lidí, kteří jsou na chlad více adaptovaní. Netřesová termogeneze probíhá výrazně v hnědé tukové tkáni, která se více nachází u dětí. Tato schopnost se však objevuje i u bílé tukové hmoty a svalové tkáně (Kučera et al., 1999; Zeman, 2006). Kittnar et al. (2000) udává, že mechanismy tvorby tepla se liší mezi dospělým a dítětem a souhlasí se Zemanem (2006), kdy tvrdí, že metabolická složka (netřesová termogeneze) převládá u novorozenců a u dospělých převažuje svalová činnost. Rozdílný je také podíl tvorby tepla ve svalech a vnitřních orgánech v klidu a při zátěži. V klidu se produkce tepla účastní z 56 % vnitřní orgány a pouze z 18 % svaly a kůže. Během zátěže se podíl svalů zvyšuje až na 90 % a úměrně k tomu klesá podíl vnitřních orgánů (Kittnar et al., 2016).

Mezi tyto mechanismy můžeme zařadit i pocení, to odvádí z těla přebytečné teplo (Kittnar et al., 2021). Pot je tvořen filtrací krevní plazmy a na povrch těla se dostává potními žlázami (Kučera et al., 1999). Potní žlázy u člověka můžeme dělit na apokrinní (pachové) a ekrinní (pravé

potní), kterých je podstatně více (Kittnar et al., 2020). Tento filtrát obsahuje i důležité minerály, mezi něž patří sodík a chloridy. Při pocení dochází tedy i k malému úbytku těchto minerálů, záleží na intenzitě pocení, při mírném pocení je pokles malý, k výraznějšímu poklesu dochází u pocení intenzivního, protože není dostatek času k reabsorpci (Kittnar et al., 2021; Kučera et al., 1999). Kučera et al. (1999) dodává, že u trénovaných osob dochází i u vydatného pocení k menším ztrátám. Při intenzivním pocení dochází ke ztrátě až 1 l tekutin na 1m² těla, proto pokud není ztráta tekutin a minerálů adekvátně hrazena, může docházet k dehydrataci až k ohrožení základních životních funkcí (Kučera et al., 1999). Pocení se využívá, pokud je v teplém prostředí nedostatečná vazomotorická termoregulace (Poděbradský & Vařeka, 1998).

K dalším faktorům bránícím ztrátám tepla řadí Zeman (2006) povrch těla a pohlaví. Povrch těla vzhledem k hmotnosti hraje v rámci termoregulace důležitou roli, protože jedinci s menším povrchem těla vzhledem k jejich hmotnosti (jedinci s dobře vyvinutým svalstvem) mají lepší izolační vlastnosti. Velké ztráty tepla se objevují u dětí, protože vzhledem k hmotnosti mají velký povrch těla a velmi nízkou vrstvu podkožního tuku (Zeman, 2006). Pohlaví se projevuje hlavně v tom smyslu, že u žen se objevuje průměrně vyšší procento tělesného tuku a mají tak lepší předpoklad k odolávání chladu (Zeman, 2006). Autor zároveň tvrdí, že pokud bychom porovnali jedince obou pohlaví se stejným procentem tělesného tuku, budou rozdíly minimální.

Další mechanismy se řadí již k mechanismům volním, mezi ně patří chování a oblékání se (Zeman, 2006). Vědomé chování a oblékání nabírá na významu především za extrémních teplot okolí. Jedná se o teploty mimo úzké rozmezí 27-32 °C. Mimo toto rozmezí se objevuje pocení nebo svalový třes (Kittnar et al., 2016). Ztrátám tepla můžeme předcházet také zmenšením tělesného povrchu, schoulením se, ideálním typem oděvu a svalovou aktivitou (Zeman, 2006). Typ oděvu se liší, pokud bude člověk aktivní nebo ne (Zeman, 2006). Podle něj můžeme v klidu využít více teplejších vrstev, jde nám jak o zahřátí, tak o udržení tepla a při aktivitách je situace složitější, protože musíme volit takové oblečení, aby se člověk moc nezahříval a nedocházelo k pocení. Pot se nasaje do vrstev oblečení a při delší době v chladu může dojít k prochlazení. Důležité je tedy využít takový oděv, který nám umožní najít rovnováhu mezi vnějším prostředím a teplem vytvořeným v průběhu aktivity (Zeman, 2006). Za nejvhodnější variantu se považuje využití více vrstev, které můžeme odkládat při zvýšení intenzity aktivity nebo zvýšení teploty. K oblékání se řadí i vliv mikroklimatu, které působí na naše tělo (Zeman, 2006). Znamená to, že lidé žijící v rozdílných zevních teplotních podmínkách mohou ve skutečnosti žít ve stejných teplotních podmínkách, na které má ale vliv styl jejich oblékání. Lidé, kteří budou žít v mrazivé oblasti, se musejí oblékat více proto, aby dosáhli stejného mikroklimatu, jako má člověk žijící v tropické oblasti s minimem oblečení (Zeman, 2006).

2.4 Adaptace celého těla na studenou vodu

Po opakované expozici chladu začíná organismus reagovat adaptačními mechanismy, které se dělí na tři základní typy (Zeman, 2006). V rámci reakce izolačního typu dochází ke zvětšení vrstvy podkožního tuku, dále dochází ke změnám v imunitních parametrech (metabolický typ) nebo k poklesu tělesné teploty při působení chladu, ale i v klidu (typ hypotermický) (Zeman, 2006). Člověk se může na působení zevních zdrojů adaptovat ve smyslu aklimatizace nebo aklimace a jedna z prvotních změn se nazývá habituace, kdy dochází ke snížení reakce při působení chladu (Zeman, 2006).

Chladová adaptace člověka se dělí do 4 skupin podle Mezinárodní komise pro termální fyziologii (Zeman, 2006).

- Genetika – např. australští domorodci jsou schopni snášet nižší teplotu, než pocítí nepohodu.
- Aklimatizace – získané modifikace v reakci na komplex zevních faktorů.
- Aklimace – získané modifikace v reakci na jediný faktor.
- Habituace (přivykání) – zmenšení reakce nebo citlivosti na opakovaný chladový podnět.

Reakce člověka na vystavení chladu se rozděluje do tří skupin (Kučera et al., 1999; Zeman, 2006).

- Metabolická – zvýšená tvorba tepla
- Izolační – tvorba tepla zůstává stejná, zvětšuje se však izolační vrstva
- Hypotermická – nedochází ke zvýšení tvorby tepla, naopak se snižuje tělesná teplota. Dochází k adaptaci na nižší teplotu. Hypotermický typ je poměrně častý, ale objevuje se především u adaptovaných lidí. Lidé neotuzilí žijící v mírných podmínkách reagují třesovou termogenezí a vazokonstrikcí.

Jedním z neekonomičtějších mechanismů chladové adaptace, kterým člověk disponuje, je netřesová termogeneze, u člověka vázána na hnědou tukovou tkáň a na noradrenalin fungující jako aktivátor samotné termogeneze probíhající v hnědé tukové hmotě (Zeman, 2006). Autor dále tvrdí, že hnědá tuková hmota se u člověka prokázala u novorozenců a je tak důležitá pro udržování tělesné teploty, avšak u dospělého člověka je hnědá tuková tkáň rudimentární, proto se předpokládalo, že u dospělého člověka netřesová termogeneze neprobíhá, ale její průběh se potvrdil v bílé tukové hmotě a jiných orgánech. Více však člověk reaguje na adrenalin než

noradrenalin, proto může netřesová termogeneze vznikat jako reakce na adrenalin a probíhat také v bílé tukové hmotě a svalové tkáni (Zeman, 2006). Donedávna nebylo prokázáno, že by lidé adaptovaní na chlad měli na adrenalin větší metabolickou reakci (netřesovou termogenezi) než neadaptovaní, ale podle výzkumu Zemana (2006), který porovnával neotužilou populaci a sportovní otužilce, se ukázalo, že po infuzi adrenalinu se u otužilců výrazně zvýšil metabolismus. Tvrdí, že účinek adrenalinu na metabolismus je u otužilců o 83 % větší než u neotužilých. Na základě toho je možné předpokládat, že u adaptovaných osob se může vyvinout i metabolický typ adaptace, kdy se třes objevuje až při nižších teplotách. Metabolismus, a tedy netřesová termogeneze, se po aplikaci adrenalinu zvyšuje především ve svalovině a bílé tukové hmotě (Zeman, 2006). Při ponoření neotužilých a otužilých osob do vody o teplotě 13 °C do výšky podpaží na 1 hodinu se výrazně lišila metabolická odezva na prostředí tak, že u neotužilých byla větší metabolická odezva než u otužilých a třes začal ihned po ponoření, naopak u otužilců začal třes až po 40 minutách expozice a vzestup metabolismu byl menší (Zeman, 2006). I přesto, že se třes objevil až po delší době a neprobíhala žádná svalová aktivita, se energetický výdej zvýšil, je možné to přičítat adrenalinové termogenezi. Adaptovaní lidé reagují na expozici chladu hypotermickým, metabolickým, ale i izolačním typem a objevuje se u nich větší periferní vazokonstrikce, nedochází tak k úniku tepla a zároveň získávají teplo jak třesem, tak i netřesovou termogenezí (Zeman, 2006).

Již 5 týdnů otužování intenzivním chladovým podnětem vede k habituaci jedinců, v této krátké době se neprojeví větší změny (Zeman, 2006). Aklimatizace na chlad se projevila změnami v rektální teplotě jedinců, při první aplikaci docházelo ke zvýšení rektální teploty ihned po ponoření, s postupným klesáním, které pokračovalo po opuštění vody, ale během dalších expozic se rektální teplota již nezvyšovala a celkově se pohybovala na nižší úrovni (Zeman, 2006). Autor dodává, že s poklesem rektální teploty se váže i třes, který postupně nastupoval později s nižší intenzitou. Vzestup teploty na začátku otužování se dá vysvětlit periferní vazokonstrikcí, která vede k centralizaci oběhu a brání přebytečným tepelným ztrátám, k vzestupu pomáhá i třes, který se v počátcích objevoval s velkou intenzitou (Zeman, 2006). Pokles rektální teploty po opuštění vody je dán návratem chladné krve z periferie po vazodilataci. Po 5týdenním cyklu se rektální teplota již nezvyšovala, ale ustálila se na nižší hodnotě, vyvinul se hypotermický typ chladové aklimace (Zeman, 2006).

Adaptaci na chlad podporují i změny krevního tlaku, k vzestupu krevního tlaku docházelo po ponoření do vody jako reakce na velký stresor v podobě chladu a tento vzestup pokračoval i po opuštění vody vlivem návratu studené krve z periferie (Zeman, 2006). Po 5 týdnech bylo zvýšení krevního tlaku menší oproti začátku, což se může považovat jako známka adaptace na chlad.

Po hodinové chladové expozici se objevil vzestup leukocytů ve smyslu celkové stresové reakce, v průběhu 5 týdnů se vzestup snižoval (Zeman, 2006). Vzestup lymfocytů se prokázal i v klidových podmínkách po otužování, což naznačuje ovlivnění imunitních pochodů. Ke zvýšení thyreoidálních hormonů docházelo na začátku expozice, aby došlo k rozvoji chladové aklimace. Vliv 5týdenního otužovacího cyklu na vzestup plazmatických imunoglobulinů a tím pádem vliv na nemocnost jedinců se nedá posoudit, pro tuto změnu je to krátká doba (Zeman, 2006).

2.5 Obecné reakce jednotlivých tělních systémů na chlad

2.5.1 Metabolická reakce

Chlad a fyzická zátěž jsou stresory, které mobilizují sympatický nervový systém. Metabolická reakce se skládá z vyplavení katecholaminů a hormonů hypofýzy. Při vyplavení katecholaminů dochází ke zvýšení krevního tlaku, vyplavení leukocytů, mobilizaci lymfocytů a k dalším pochodům. Změnou distribuce krve dochází k vazokonstrikci v ledvinách a snížení glomerulární filtrace. K udržení tělesné teploty hraje roli i hladina glukózy v krvi, její nedostatek snižuje tělesnou teplotu (Zeman, 2006).

2.5.2 Myokard a kardiovaskulární systém

Obecně má chlad na myokard nepříznivé účinky. U jedinců trpících ischemickou chorobou srdeční dochází ke zhoršení potíží a může docházet k vyvolání stenokardií a chlad může iniciovat i vznik infarktu (Zeman, 2006). V rámci celého srdce má chlad přímý vliv na sinusový uzel a způsobuje zpomalení tepové frekvence, poruchy srdečního rytmu až srdeční zástavu. U otužilců se však výrazné poruchy srdečního rytmu nebo negativní vlivy chladu na myokard neobjevují nijak často (Zeman, 2006). Při náhlém působení chladu se zvyšuje tlak v kardiovaskulárním systému a zvyšuje se i srdeční frekvence. Pokud je chlad aplikován na obličej, objevuje se naopak bradykardie (Poděbradský & Vařeka, 1998). Obecně má chlad sice negativní vliv, ale při postupném navykání si chladu je možné, aby se adaptoval i člověk s onemocněním srdce (Zeman, 2006).

2.5.3 Nervový systém a diving reflex

Diving reflex je jev, při kterém dochází ke zpomalení srdeční frekvence, děje se to na základě kombinace prudkého ochlazení povrchu těla, obličeje a apnoe (Zeman, 2006). Jde o přirozenou reakci organismu na ponoření do studené vody, která je spojena převážně s ponořením obličeje. Aferentní část je kombinací podráždění termoreceptorů na obličeji, apnoe

a zvýšení nitrohruďního tlaku a eferentní část zprostředkovává nervus vagus, který tlumí vzruchy v sinusovém uzlu a dochází k poruchám srdečního rytmu a v extrémních případech i k srdeční zástavě (Zeman, 2006). Předpokládá se, že tento reflex je příčinou nevysvětlitelných úmrtí plavců. Podle Zemana (2006) nemá otužování vliv na tento reflex, protože projevy se objevily jak u otužilců, tak u neadaptovaných osob a zároveň nemusí být problémem jen u plavců, ale i u jiných sportovců, kteří se setkávají s náhlými přívaly chladu nebo studené vody. Prevencí je vyvarovat se prudkého ochlazení celého těla, ale hlavně obličeje (Kučera et al., 1999).

2.5.4 Pohybový aparát

Chlad spojený s vysoce intenzivní zátěží se projevuje vznikem křečí, převážně na dolních končetinách v oblasti trojhlavého svalu lýtkového a dalších svalových skupin (Zeman, 2006). Jako prevenci těchto vlivů autor doporučuje systematický trénink a postupné navykání si na chladné prostředí či studenou vodu. V extrémním chladu při nekoordinovaných a prudkých pohybech může docházet i k rupturám svalů, prevencí jsou koordinované pohyby a adaptace svalů na chlad (Zeman, 2006). Navrátil (2019) popisuje vliv na změny tonu svalů při aplikaci chladu. Chladová expozice inhibuje dráždivost motoneuronů předních rohů míšních a na základě toho se lokálně snižuje svalový tonus, ale pokud je lokální chladové působení silné, objevuje se naopak zvýšení svalového tonu jako při celkové aplikaci (Navrátil, 2019). Poděbradský a Vařeka (1998) tvrdí, že lokální chladová aplikace způsobuje krátkodobé prokrvení hlouběji uložených svalů a kloubů, oproti tomu celková aplikace se projevuje zvýšením svalového tonu, vazokonstrikcí v kůži a vazodilatací v ostatních orgánech. Po delším působení se svalový tonus snižuje a na základě vazodilatace se objevuje hyperemie (Navrátil, 2019).

2.5.5 Kůže

Kůže je orgánem podílejícím se na udržení stálé teploty těla, proto je její důležitou vlastností špatná vodivost (Rokyta et al., 2008). Je nejenom dobrým izolantem díky buňkám tukové tkáně v podkožním vazivu, ale získává i informace o teplotě díky termoreceptorům (Kittnar et al., 2021). Termoreceptory se nachází ve vrstvě kůže nazývané dermis. Jedná se o pomalu se adaptující receptory. Díky nim získáváme informace o teplotě kůže (od 10 do 45 °C) a teplotě jádra. Dělí se na dva druhy vnímající teplo a chlad. Rozmezí teplot 23-28 °C maximálně aktivuje receptory chladu (Krauseho tělíška), (Rokyta et al., 2008), 28-43 °C zase receptory tepla (Kittnar et al., 2020). Kittnar et al. (2016) udává hranici 36 °C pro rozdělení termoreceptorů na chladové a tepelné. Podle Rokyty et al. (2008) termoreceptory pracují v rozmezí od 10 do 45 °C, Kittnar et al. (2016) a Navrátil (2019) se však shodují na rozmezí 20-40 °C. A dále udávají, že

extrémnější teploty jsou vždy vnímány jako studené nebo jako teplé, důvodem je ochrana organismu před poškozením. Při teplotě pod 10 °C nedochází k tvorbě vzruchů, vlivem čehož může chlad působit analgeticky (Kittnar et al., 2020).

Kůže funguje jako přenašeč tepelné energie díky termoregulačnímu účinku protékající krve a zároveň ovlivňuje množství přeneseného tepla díky svojí velikosti, prokrvení a tvorbě potu (Kittnar et al., 2020; Kittnar et al., 2021) Na regulaci přijatého a odevzdaného tepla se účastní kapiláry, které se v chladu kontrahují a v teple dilatují (Rokyta et al., 2008). Množství krve, která tímto systémem proteče, se pohybuje od několika mililitrů v chladu až po několik litrů ve zvýšeném teple. V chladu se tedy průtok krve omezí a teplo se zadržuje v těle (Kittnar et al., 2021). I v období bez potřeb termoregulace se množství krve pohybuje od 150 do 500 ml/min. Pro potřeby rychlých změn teploty jsou důležité arteriovenózní zkratky (Kittnar et al., 2020). Tento zvláštní systém prokrvení akrálních částí těla je důležitý při působení chladu, krev se nedostává až do koncových kapilár a teplota těchto částí těla se udrží dostatečně vysoká a nedojde k poškození (Kittnar et al., 2021).

Kůže reaguje na náhlou lokální aplikaci negativního podnětu vazokonstrikcí, což vede k ochlazení jak kůže, tak i hlouběji uložených tkání, ale při delším působení se objevuje vazodilatace již během působení samotného podnětu. Vazodilatace je důležitá k ochraně povrchových vrstev (Navrátil, 2019; Poděbradský & Vařeka, 1998). Po ukončení aplikace chladu vzniká reaktivní erytém, kterým se organismus snaží vyrovnat tepelný deficit, maxima dosahuje po 20 minutách a postupně klesá dalších 40 minut. Erytém po chladové expozici trvá déle než po působení tepla (Navrátil, 2019). Po ukončení procedury musí být kůže červená a teplá, nikdy se nesmí objevit pocit zimy nebo bledá akra. U jedince s normálně reagujícími cévami se objevuje ochranný mechanismus proti poškození chladem. Nazývá se jako hunting response, kdy při poklesu kožní teploty na 15 °C dochází ke krátkodobé vazodilataci a vzestupu teploty o 5 °C, při pomalém nástupu je reakce kůže podobná, pouze vazokonstrikce není tak výrazná (Navrátil, 2019).

Při působení dlouhodobého chladu na kůži mohou vznikat omrzliny. Ty se však podle Zemana (2006) u sportovních otužilců nevyskytují díky důslednému dodržování preventivních opatření. Omrzlinami však trpí sportovci, kteří svůj výkon nemohou ihned ukončit při pocitu nekomfortu nebo chladu, do této skupiny spadají horolezci, lyžaři a turisté (Zeman, 2006). Většinou k omrzlinám dochází v momentě, kdy se objeví nepřízeň počasí a predilekčně se objevují na okrajových částech těla, prstech, nosu, bradě, uších.

Omrzliny se dělí na tři stupně, každý ze stupňů má jinou tíži symptomů. U prvního stupně dochází k cévnímu spasmu projevujícím se bílou necitlivou kůží. Druhý stupeň se projevuje otokem a vznikem puchýřů. Třetí stupeň je nejzávažnější a objevují se hluboké nekrózy tkání

(Zeman, 2006). Léčba omrzlin obecně spočívá v zahřátí člověka a zasažených částí těla, podávání teplých nápojů, případně alkoholu k prokrvení periferie. Postižené části se zahřívají suchým teplem, případně koupelemi. Při léčbě omrzlin druhého a třetího stupně je nutné postupovat sterilně (Zeman, 2006).

Méně závažným problémem a limitujícím faktorem pro adaptaci v extrémních podmínkách jsou oznobeniny postihující převážně sportovce s tenkými prsty (Zeman, 2006).

2.5.6 Funkce ledvin

Pobyt v ledové vodě má vliv na pokles glomerulární filtrace a dochází k proteinurii, erytrocyturii a leukocyturii (Zeman, 2006). Při sledování výskytu bílkoviny v moči se u otužilců objevila pouze dvakrát, v kontrolní skupině se v kratším časovém období objevila pětkrát, jak uvádí Zeman (2006). Pro vyšetření glomerulární filtrace byl použit test clearance kreatininu, u obou skupin se výsledky pohybovaly v mezích normy, nedochází tak k poškození glomerulární filtrace (Zeman, 2006). Hodnoty proteinurie se u obou skupin také nijak nelišily, rozdíl se objevil v rámci skupin mezi hodnotou ranní a noční proteinurie (Zeman, 2006). Autor tvrdí, že noční proteinurie byla vždy nižší, ale hodnoty se u obou skupin pohybovaly do 0,15 g/den, tuto hodnotu můžeme považovat za fyziologickou. Z výsledků všech testů, které neprokázaly výrazné změny ve funkci ledvin, je možné tvrdit, že opakovaná expozice v ledové vodě u adaptovaných osob nevede k poruše funkce ledvin (Zeman, 2006). V průběhu klidové chladové expozice dochází k poklesu glomerulární filtrace, pokles ale není takový jako při plavání ve studené vodě (Zeman, 2006). Dochází i ke snížení tubulární resorpce, především z důvodu periferní vazokonstrikce a centralizace oběhu. U otužilých osob došlo ke zvýšení proteinurie v průběhu expozice, je to možné přisoudit zvýšené propustnosti glomerulární membrány způsobené dlouhodobým vystavováním se chladu (Zeman, 2006). Devastující poškození ledvin se objevuje při nehodách, kdy jsou jedinci nuceni trávit určitou dobu ve vodě o teplotě 0 °C, kdy se vyvíjí akutní ledvinné selhání s nekrózou tubulárních buněk zapříčiněné vazokonstrikcí a ischemií ledvin (Zeman, 2006).

2.5.7 Hormony štítné žlázy a kůry nadledvin

Proto, aby tělo bylo schopno reagovat aklimací na expozici chladu, jsou nutné thyreoidální hormony (thyroxin). Vysoké množství je pouze při rozvoji reakce, s délkou expozice jejich množství klesá (Zeman, 2006). Autor dále tvrdí, že adaptační reakce na chlad jsou zajišťovány jinými mechanismy, především zlepšením izolace. Při zkoumání kolísání hladin hormonů štítné žlázy nedochází k jasným závěrům (Zeman, 2006). Dodává, že většina prací udává vzestup v zimě,

avšak někteří autoři nezjistili významnější změnu v hodnotách a jiní udávají vzestup naopak na jaře a na podzim. Při porovnání sportovních otužilců a kontrolní skupiny házenkářů se hodnoty hormonů měnily různě, u otužilců došlo k vzestupu v září a k poklesu v červnu a u házenkářů byly výsledky přesně opačné (Zeman, 2006). Vyšší hodnoty u otužilců autor vysvětluje poklesem teploty vody oproti letnímu období a nastávajícím procesem adaptace. A dodává, že další pokles teploty vody už nevyvolá výraznější reakci, protože pokles již není tak razantní. U házenkářů byly hodnoty opačné, v září byly hodnoty nízké, nebylo totiž nutné nastartovat adaptační mechanismy vůči chladu, k tomu docházelo až později v zimě, naopak vysoké hodnoty v červnu se dají vysvětlit tím, že se začali koupat venku (Zeman, 2006). I voda o teplotě 20 °C představuje pro neadaptovaného člověka výrazný stimul k adaptaci. Stejně jako thyreoidální hormony se do stresové reakce zapojují i hormony kůry nadledvin. Poplachová reakce začíná stimulací sympatiku, vyplavováním katecholaminů a aktivací osy hypofýza-nadledviny. Na základě těchto dějů stoupá množství kortizolu v těle. Je však závislý pouze na vzniku reakce a do 24 h od expozice se vrací do normálu. U obou sledovaných skupin se prokázalo větší množství kortizolu v zimě než v září a červnu, kdy byly hodnoty nejnižší. Dále se prokázala nižší hladina u otužilců v průběhu celého roku vůči házenkářům. Tento jev je možné vysvětlit adaptačními mechanismy a nižší stresovou reakcí adaptovaných jedinců (Zeman, 2006).

2.5.8 Imunologická reakce

Imunita se dělí na složku humorální a buněčnou. Z humorální složky je důležitý hlavně imunoglobulin IgA jako obrana proti infekčnímu agens. Buněčná imunita je zastoupena B-lymfocyty a T-lymfocyty (Zeman, 2006). Hodnoty v rámci humorální imunity se lišily v IgG a IgA, v obou případech byly hodnoty vyšší u obou skupin v zimě a zároveň byly hodnoty v obou případech vyšší u otužilců než u házenkářů (Zeman, 2006). Naopak hodnoty B-lymfocytů se v průběhu roku měnily různě, u otužilců nedošlo k výrazné změně, naopak u házenkářů došlo k vzestupu v zimě. Došlo i k tomu, že házenkáři měli v zimě větší počet B-lymfocytů než otužilci (Zeman, 2006). Počet T-lymfocytů u otužilců v zimě mírně klesal, v kontrolní skupině došlo k mírnému vzestupu, i u B-lymfocytů došlo k tomu, že otužilci mají T-lymfocytů méně. Celkový počet lymfocytů se u obou skupin ani v průběhu roku výrazně neměnil (Zeman, 2006). Autoři zkoumající vliv otužování na imunitní systém udávají vyšší hladiny imunoglobulinů u otužilců, celkové množství je dáno geneticky, fyziologicky a díky vnějším faktorům. Expozice chladu je tedy stimulem pro jejich větší tvorbu (Zeman, 2006). Obrannost klesá po intenzivním sportovním tréninku, klesá i množství IgA a je větší náchylnost k infekci, otužování je možné využívat jen v mírné formě (Zeman, 2006). B-lymfocyty dozrávají v kostní dřeni a jsou důležité

pro tvorbu protilátek, nenacházejí se však ve sliznicích, proto nemají tak rychlý styk s antigenem. Chladová expozice je nespecifickým stimulantem pro tvorbu protilátek, z toho důvodu je nutné větší množství B-lymfocytů (Zeman, 2006). Autor dodává, že IgA jsou naopak protilátky pro ochranu sliznic, mohou mít vliv na nižší nemocnost otužilců. T-lymfocyty u házenkářů jsou zvýšené kvůli výskytu infekcí v zimě. Pokles u otužilců je dán lepším stavem imunitního systému a také supresivním vlivem celotělové hypotermie. Tyto stavy přetrvávají ještě 2-4 dny po expozici (Zeman, 2006). Řada prací ukazuje pozitivní vliv otužování na imunologickou reaktivitu a menší nemocnost (Zeman, 2006). Intenzivní zátěž mobilizuje neutrofilů a lymfocytů zvýšením hladiny kortizolu a katecholaminů. Nejvíce reagují NK buňky. Dochází i ke zmnožení proteinů akutní fáze (Kučera et al., 1999). Otužování spojené s mírným tréninkem snižuje incidenci onemocnění dýchacího aparátu, intenzivní trénink má však na imunitní systém negativní vliv, dochází k poklesu obranyschopnosti (Kučera et al., 1999). I když je množství imunoglobulinů dané genetickými, fyziologickými a vnějšími faktory, může být otužování stimulem pro imunitní systém a snazší překonávání běžných situací (Kučera et al., 1999).

2.6 Reakce systémů zapojených do svalové práce na změnu teploty

2.6.1 Svalová tkáň

Studená voda má vliv i na teplotu svalu a tím i jeho schopnost práce. Optimální teplota svalu pro práci je 37 °C, nejvíce ji ovlivňuje teplota vody, čas a konstituce člověka (Zeman, 2006). „Při teplotě vody 15 °C klesla za 30 min v klidu teplota svalu ze 32 °C na 27 °C u obézních a na 24 °C u hubených“ (Zeman, 2006, p. 21). Chlad způsobuje vazokonstrikci ve svalech, dochází k hypoxii svalu a nepříznivému působení na šlachy a svalové úpony, takto podchlazené struktury mají větší tendenci k rupturám a zranění (Zeman, 2006). Autor dále udává, že častá expozice ve studené vodě má příznivý vliv a působí na proliferaci kapilár ve svalů. Celková a náhlá místní aplikace chladu způsobí cold response, zvyšuje se svalová dráždivost a svalový tonus, ale při delším působení dráždivost i tonus klesá (Poděbradský & Vařeka, 1998). Autoři dodávají, že pomalé působení chladu způsobuje nevýraznou reakci, objevuje se spíše snížení svalového tonu. Lokální aplikace chladu se dá využít ke snížení aktivity spouštěcích bodů, objevuje se výrazná reaktivní hyperémie. Chlad také snižuje nervové vedení, snižuje metabolismus, pomáhá ke snížení otoku a zpomaluje zánět a má analgetický účinek. (Poděbradský & Vařeka, 1998).

2.6.2 Kardiovaskulární systém

Kardiovaskulární systém je první, který reaguje na chladový podnět při aplikaci otužování (Poděbradský & Poděbradská, 2009). Při celkové aplikaci platí Daster-Moratovo pravidlo, které popisuje reakce cév různých orgánů, kdy cévy vnitřních orgánů reagují opačně než cévy kůže (Poděbradský & Vařeka, 1998). První reakcí je vazokonstrikce, která je příčinou zpomalení metabolismu v dané tkáni a má ochrannou funkci. Na ni navazuje vazodilatace, snaží se o prohřátí tkání výraznou hyperémií. Vazodilatace a s ní spojená hyperémie je však pouze krátkodobá a je znovu vystředána vazokonstrikcí (Poděbradský & Poděbradská, 2009). S reaktivní vazokonstrikcí se zvyšuje se i reaktivita organismu a aktivace svalů, po adaptaci na chlad však dochází ke snížení svalového napětí. Při expozici v chladné vodě dochází také k tachykardii a zvýšení krevního tlaku. Kardiovaskulární systém je však i ukazatelem správně provedeného ochlazení, měla by se objevit reaktivní hyperémie, trvající déle než vlastní expozice. (Poděbradský & Poděbradská, 2009).

2.6.3 Respirační systém

Chladný vzduch může způsobovat určité problémy, zvláště v situaci intenzivní zátěže, kdy většina sportovců dýchá ústy; při dýchání nosem naše dýchací cesty dokážou ohřát vdechnutý vzduch i pokud se teplota pohybuje okolo -25 °C (Zeman, 2006). Autor dodává, že k podráždění horních dýchacích cest, někdy i bronchů dochází již při teplotě -12 °C, pokud se dýchá ústy. Studený vzduch působí problémy primárně u astmatiků, u kterých se 5-15 min po zátěži objevuje dušnost, kašel, sípání, tlak na hrudi a zvýšená bronchiální sekrece, takzvaný pozátěžový bronchospasmus. Daleko častěji se tento stav objevuje i u lidí, kteří astmatem netrpí, a u profesionálních sportovců (Zeman, 2006). Při vdechování studeného vzduchu se tracheální trubice ochladí až o 18 °C a dochází k bronchokonstrikci. Tomu se sliznice snaží zabránit zahřátím, dochází k překrvení, na základě toho se objevuje edém a následné další zúžení. Na celkovém vzniku se podílí i kvalita ovzduší, alergeny a další škodlivé látky. Tento stav se ale do 60 min spontánně upravuje (Zeman, 2006). Jako preventivní opatření doporučuje vyhýbaní se virovým infekcím, posilování imunity, omezené vystavování se alergenům, vdechování chladného vzduchu a ochlazení obličeje, v zimě používání roušek, které vzduch částečně předeheřejí (Zeman, 2006). Chlad zvyšuje plicní ventilaci a roste tak minutový objem, ale při náhlém působení se může objevit apnoická pauza následovaná povrchním dýcháním (Poděbradský & Vařeka, 1998).

2.6.4 Nervový systém

Podle Costella et al. (2016) a Whita a Wellse (2013) ponoření do studené vody snižuje teplotu tkání, zpomaluje nervové vedení a díky tomu snižuje bolestivost svalů. Nižší teplota těla snižuje únavu CNS a zlepšuje produkovanou sílu (Wakabayashi, Kaneda, Sato, Tochihara, & Nomura, 2008).

2.7 Negativa a rizika otužování

Tepelný komfort člověka není ovlivněn pouze samotnou teplotou prostředí, ve kterém se nachází, ale i dalšími faktory, jako je vedení, proudění, vypařování a radiace (Zeman, 2006). Z tohoto důvodu byla zavedena komplexní měřicí metoda nazývaná jako „wet bulbe globe“ teplota (WGBT), zahrnující všechny zmíněné faktory, využívá tří druhů teploměrů, suchý, vlhký a teplotu černé koule. Vlhkost ovlivňuje odpařování potu; pokud je vlhkost 100 %, je teplota suchého a vlhkého teploměru stejná. Teplota černé koule je indikátorem, jak je prostředí schopno pohlcovat vyzařované teplo (Zeman, 2006). WGBT je stanovena vzorcem: $WGBT = 0,1 T_{DB} + 0,7 T_{WB} + 0,2 T_G$ (T_{DB} = teplota suchého teploměru, T_{WB} = teplota vlhkého teploměru, T_G = teplota černé koule), (Zeman, 2006).

Jedním negativem otužování může být větší náchylnost k infekci. Je to dáno poklesem obranyschopnosti po intenzivní pohybové aktivitě, je nutné přistupovat k otužování opatrně, problém nemusí nastat u adaptovaných jedinců (Zeman, 2006).

2.7.1 Rizikové teploty pro organismus

„Chladový stres můžeme definovat jako takové zevní prostředí, které vede ke ztrátám tělesného tepla a k ohrožení homeostázy“ (Zeman, 2006, p. 14). Mezi stresory, se kterými se člověk nejčastěji setkává, patří voda a vzduch. Kritická teplota těchto prostředí se od sebe liší, ale v obou případech je velmi vysoká (Kučera et al., 1999; Zeman, 2006). „Kritická teplota je nejnižší teplota okolí, při které nahý člověk v klidu udržuje svoji tělesnou teplotu, aniž by zvyšoval metabolismus“ (Zeman, 2006, p. 14). Pro vodu se tato teplota pohybuje v rozmezí 32-35 °C a pro vzduch je to teplota mezi 22-27 °C, u osob adaptovaných na chlad se kritická teplota v obou případech snižuje (Kučera et al., 1999; Zeman, 2006).

Pobyt v chladné vodě způsobuje velký tepelný výdej. U lidí neadaptovaných je pokles rektální teploty (T_r) za hodinu pobytu v klidu ve vodě o teplotě 15 °C na 35 °C. Na pokles tělesné teploty má vliv samotné plavání nebo pohyb ve vodě, v klidu tělesná teplota neklesá tolik. Pokles teploty je daný také adaptací, u otužilců byla tělesná teplota vyšší (Zeman, 2006). Podle Zemana

(2006) se při pobytu ve studené vodě se snižuje i kožní teplota, výrazně se však neliší mezi klidem a pohybem ve vodě. Navrátil (2019) však uvádí, že silný lokální chladový podnět způsobuje poškození tkání a omrzliny.

Pokles tělesné teploty po opuštění ledové vody je dán termoregulačními pochody, vazokonstrikcí a centrací krve (Zeman, 2006). Centrace krve je patrnější v klidu, ale při plavání je nutné prokrvení pracujících svalů, což je důvodem, proč v klidu odevzdáváme menší množství tepla než při pohybu. Po výstupu vody je pak větší rozdíl v prokrvení periferních částí těla u lidí, kteří plavali a kteří byli v klidu (Zeman, 2006).

Voda chladnější než 10 °C je pro organismus nebezpečná, po delší dobu není možné udržet pozitivní tepelnou bilanci (Kučera et al., 1999; Zeman, 2006). Autoři uvádějí, že ani adaptovaný člověk není schopen přežít v ledové vodě déle než 30 min.

Teplota, při které závisí ztráta tělesného tepla na pohybu a klidu, je 18 °C. Pod touto teplotou je ztráta při pohybu větší než v klidu, nad teplotou 18 °C je lepší se hýbat, pod ní zůstat v klidu (Kučera et al., 1999; Zeman, 2006). Autoři dále tvrdí, že ztráta tepla je také závislá na konstituci člověka, hlavně na vrstvě podkožního tuku. U hubených jedinců je pokles teploty vyšší. Mezi oblasti, kterými člověk přichází o největší množství tepla, patří hlava, krk, oblast kolem sternu, laterální plochy hrudníku a třísla, proto je doporučeno se udržovat ve skrčené poloze. V případě většího počtu lidí využít tzv. huddling (Kučera et al., 1999; Zeman, 2006).

Pobyt ve studené vodě neklade nároky pouze na tělesnou teplotu, ale nepříznivě ovlivňuje spotřebu kyslíku, energetický výdej, výkonnost a vytrvalost (Zeman, 2006). „Minutová spotřeba kyslíku byla ve vodě o teplotě 18 °C o 500 ml vyšší ve srovnání se stejně rychlým plaváním ve vodě teplé (26 °C)“ (Zeman, 2006, p. 21).

2.7.2 Hypotermie

Hypotermie je stav, kdy dochází k poklesu tělesné teploty pod 35 °C (Rokyta et al., 2008; Zeman, 2006). Hypotermie jako taková má vliv komplexně na celý organismus a může být ještě umocněna působením svalové únavy.

Hypotermii můžeme rozdělovat do několika stupňů podle tělesné teploty, závažnosti a schopností organismu se s tímto podchlazením vyrovnat. Zeman (2006) jako mírnou hypotermii popisuje stav, kdy se tělesná teplota blíží 32 °C, tento stav není tak vážný a organismus je schopen se s ním vyrovnat. Podle Rokyty et al. (2008) k tomu organismus využívá svalový třes, vazokonstrikci cév a zvýšenou tepovou frekvenci. Dalším stupněm je střední hypotermie, kdy teplota klesá mezi 30-32 °C (Zeman, 2006). Rokyta et al. (2008) uvádí přesnější horní hranici, 32,2 °C. Tento pokles teplot nepříznivě ovlivňuje převodní systém srdeční a mohou tak nastávat

poruchy srdečního rytmu jako bradykardie, komorové tachykardie až fibrilace komor (Zeman, 2006). Rokyta et al. (2008) mezi příznaky přidává zpomalené dýchání. Další snížení teploty až pod 30 °C znamená těžkou hypotermii doprovázenou poruchami kardiopulmonálního systému. Projevuje se těžkými poruchami srdečního rytmu, poklesem krevního tlaku a mělkým dýcháním, způsobují retenci CO₂ a dochází k metabolické acidóze. Mezi další nepříznivé vlivy této nízké teploty patří poruchy mentálních funkcí (apatie, zmatenost, neadekvátní chování končící letargií a bezvědomím) (Rokyta et al., 2008; Zeman, 2006). Může docházet i k paradoxu, že se člověk s takto nízkou teplotou začne svlékat, je to způsobeno poruchami cerebrálních receptorů a hypothalamu (Zeman, 2006). Autor dodává, že schopnost hypothalamu regulovat tělesnou teplotu se snižuje již ve stavu nízké hypotermie, přesněji pod teplotou 34 °C, k úplné ztrátě této funkce nastává při tělesné teplotě nižší než 29°C. Na základě ztracené schopnosti regulovat tělesnou teplotu se organismus z takového podchlazení nemůže dostat (Zeman, 2006). Rokyta et al. (2008) s těmito nízkými teplotami, konkrétně teplotou pod 28 °C, spojuje pokles bazálního metabolismu na polovinu jeho obvyklých hodnot. Tato skutečnost přispívá k neschopnosti se s hypotermií vyrovnat, smrt na základě selhání srdce nastává v momentě, kdy tělesná teplota dosahuje hodnot 24-25 °C (Navrátil, 2019).

Hypotermii můžeme vyléčit, z lehčích stupňů se organismus může dostat sám, u těžších stupňů už je nutná zevní podpora (Zeman, 2006). U mírné hypotermie podle Zemana (2006) stačí redukovat zdroje chladu, to znamená, že stačí teplá místnost, suchý oděv a teplý nápoj. K těmto zevním vlivům se přidává tělesná aktivita a třes, které stačí k vyrovnání se s chladem. U střední hypotermie je riziko poruchy srdeční funkce, k zabránění těmto projevům se využívá pomalého zahřívání organismu ve vlažné lázni, která se postupně ohřívá. Je také nutné zabránit rychlému návratu studené krve z periferií. Jako doplněk je možné využít vdechování teplého vzduchu (Zeman, 2006). Při těžších stavech, kdy se tělesná teplota dostává pod hranici 30 °C, je nutná hospitalizace, protože se objevují život ohrožující komplikace, které se musí akutně řešit (Zeman, 2006). Autor dodává, že léčba je obtížná, protože poruchy srdečního rytmu často nereagují na standardní postupy, a proto se využívá infuzní léčba s roztoky zahřátými až na 40°C. Pokud se člověka podaří zachránit, je nutné řešit další komplikace, jako je akutní renální selhání (Zeman, 2006).

2.8 Využití otužování

Ponoření do studené vody je finančně výhodná metoda rozšířená mezi sportovci i běžnou populací k minimalizaci únavy a zrychlení pozátěžové regenerace svalů a výkonu (Holmes & Willoughby, 2016; Versey, Halson, & Dawson, 2013; Wilcock, Cronin, & Hing, 2006).

Je využíváno ke snížení příznaků DOMS, subjektivního hodnocení námahy, markerů krevní plazmy (CK a laktát), cytokinů krevní plasmy (CRP) (Ascensao, Leite, Rebelo, Magalhaes, & Magalhaes, 2011; Costello, Algar, & Donnelly, 2012; Hohenauer, Taeymans, Baeyens, Clarys, & Clijsen, 2015; Pointon, Duffield, Cannon, & Marino, 2011), bolestivosti svalů (Wang et al., 2021), otoku a k léčbě svalových zranění (Banfi, Lombardi, Colombini, & Melegati, 2010). Mezi další vlivy Ihsan, Watson a Abbiss (2016) řadí snížení teploty tkání, kardiovaskulární zátěže, odstranění nahromaděných metabolitů ve svalech a zlepšení funkce autonomního nervového systému. Wakabayashi, Kaneda, Sato, Tochihara a Nomura (2008) dodávají, že nižší teplota tkání vede ke snížení únavy CNS a zlepšení produkované síly.

Použití ponoření do studené vody je ideální u atletů s náročnými tréninky nebo závody a krátkými pauzami mezi nimi (Hohenauer et al., 2015). Zlepšení výkonu se objevuje v cyklistice, běhu, lezení, vertikálním výskoku a silových testech dolních končetin, jak uvádí Versey, Halson, & Dawson (2013).

2.9 Obecné metodiky otužování

Začínat s otužováním by se mělo v létě, tak, aby byl člověk adaptovaný na chlad v zimě (Zeman, 2006). Pokud je člověk zvyklý využívat studenou sprchu, může v létě k otužování využívat i přírodní vodní plochy, avšak před vstupem do vody je nutná správná příprava, v chladném počasí by se člověk měl rozcvičit, aby nevstupoval do vody prochladlý, v teplých měsících by naopak člověk neměl být přehřátý (Zeman, 2006). Základním pravidlem otužování je příjemný pocit, který se s ním pojí, mělo by se využívat takových podnětů, které mají vliv na adaptaci organismu, ale nepřinášejí nepříjemné pocity, například chladnější voda nebo méně vrstev oblečení (Zeman, 2006). Postupné navykání si chladnějším teplotám vede k adaptaci a odolnosti organismu naopak urychlené otužování může vést ke zdravotním problémům (Zeman, 2006).

Negativní termoterapie/otuzování ovlivňuje termoregulaci organismu a velikost odpovědi závisí na způsobu aplikace, intenzitě, době trvání, aplikační ploše a na prostředí (Navrátil, 2019). Pro aplikaci negativní termoterapie ve vnitřním prostředí je nutná dostatečná teplota místnosti i pacienta (Poděbradský & Vařeka, 1998). Autoři připomínají, že samotná aplikace se řídí pocity pacienta, délka aplikace se řídí také podle užití procedury. Negativní termoterapii můžeme kromě prevence použít i u akutních úrazů, kde se nejlepších výsledků dosahuje v horizontu 48 hodin s cílem zabránit vzniku otoku, hematomu, snížit krvácení a bolestivost (Poděbradský & Vařeka, 1998).

2.9.1 Otužování vzduchem

Otužování vzduchem je nejdostupnější metoda, kterou můžeme provozovat kdekoliv (Zeman, 2006). Čím nižší je teplota, tím je účinek výraznější, je však nutné myslet na vlhkost a proudění vzduchu. Vlhkost je důležitá z toho důvodu, že člověk je schopen zvládnout vysoké i nízké teploty, ale při nízké vlhkosti (Zeman, 2006). Při otužování by měl člověk oblékat pouze kraťasy, případně tričko a jeho první expozice by měla být při teplotě okolo 20 °C po dobu 10-15 minut. Součástí musí být vždy pohybová aktivita, postačí i pomalá chůze; ta zabraňuje prochladnutí organismu a vzniku nežádoucího třesu (Zeman, 2006). Při správně zvládnutém otužování a adaptaci organismu je člověk schopen zvládat aktivity v lehkém oděvu za každého počasí (Zeman, 2006).

Mezi přístrojové metody se řadí kryoterapie plyny, což je metoda, která k ochlazení kůže využívá různě rychlého proudění vzduchu, oxidu uhličitého a plynného dusíku. Jednotlivé plyny se liší svojí teplotou a časem působení (Navrátil, 2019; Poděbradský & Poděbradská, 2009). Teplota aplikovaného vzduchu se může pohybovat až okolo -160 °C (Poděbradský & Vařeka, 1998). Tato metoda se dá využívat u pouhazových a pooperačních stavů (Navrátil, 2019; Poděbradský & Poděbradská, 2009).

2.9.2 Otužování vodou

Otužování vodou je neúčinnější metodou tvorby adaptace na chlad, nemělo by se však začínat příliš nízkými teplotami (Zeman, 2006). Prvním stupněm je omývání, kdy se využívá člověku příjemná teplota a omývají se s ní jednotlivé části těla. Postupně můžeme snižovat teplotu vody, aby docházelo k další adaptaci (Zeman, 2006). Druhým stupněm je sprchování s vyšší účinností díky nejen chladové, ale i mechanické složce. K zisku adaptace postačí sprchování 2–3x týdně o délce 10s a teplotě vody, která je příjemná. Čas postupně prodlužujeme a teplotu vody postupně snižujeme. V průběhu by mělo docházet k pohybu a tření pokožky, tření pokožky za využití ručníku se využívá i po expozici (Zeman, 2006).

Při lokálním působení chladu se jako první reakce objevuje vazokonstrikce následovaná vazodilatací, chránící povrchové vrstvy, opačná reakce než při aplikaci tepla (Navrátil, 2019). Chladová expozice inhibuje dráždivost motoneuronů předních rohů míšních a na základě toho se snižuje svalový tonus, při silném lokálním chladovém působení se objevuje zvýšení svalového tonu jako při celkové aplikaci (Navrátil, 2019). Lokální chladová aplikace způsobuje prokrvení hlubších svalů a kloubů, celková zvýšení svalového tonu, vazokonstrikcí v kůži a vazodilatací v ostatních orgánech. Po delším působení se svalový tonus snižuje a na základě vazodilatace se objevuje hyperémie (Navrátil, 2019).

Negativní termoterapii/otuzování můžeme rozdělovat na částečnou a celkovou. Při částečné působíme pouze na určité části těla, celková působí na celé tělo. Dále ji můžeme dělit na vzestupnou, kdy teplota postupně roste, a na sestupnou, kdy naopak postupně klesá. Mezi procedury částečné negativní termoterapie můžeme zařadit kryoterapii, studené obklady a další. Mezi procedury celkové se řadí kryokomora (Navrátil, 2019; Poděbradský & Poděbradská, 2009).

Kryosáčky

Produkují chlad díky chemické reakci nebo obsahují gel, který po ochlazení chlad drží. Příkladují se na kůži přes vrstvy bavlněné látky po dobu 10-15 minut. Použití je možné u poúrazových, pooperačních stavů a hematomů až několikrát denně. Jejich výhodou je dostupnost, nevýhodou však neschopnost udržet stejnou teplotu (Navrátil, 2019; Poděbradský & Poděbradská, 2009).

Studené oviny a zábaly

Oviny pokrývají pouze menší části těla, zábal naopak pokrývá více než 2/3 těla. Lokální oviny se mohou využít u akutních distorzí k ovinu daných částí těla (Poděbradský & Poděbradská, 2009). Reakce organismu na tyto procedury probíhá ve třech fázích. První je termonegativní fáze trvající 5-10 minut, dochází při ní k vazokonstrikci. Následuje fáze indiferentní a termopozitivní. Ke správné funkci těchto procedur se musí zajistit maximální kontakt s tělem. Ovinů existuje velké množství, dělí se podle částí těla, kde je můžeme použít. (Poděbradský & Vařeka, 1998).

Studené ostříky

Podstatou je cílené působení mechanické energie vody. Existuje větší množství ostříků podle místa, kde se aplikují (Poděbradský & Vařeka, 1998). Aplikují se hlavně v případě problémů s prokrvením dolních končetin i zad, svalových bolestí a křečí (Navrátil, 2019; Poděbradský & Poděbradská, 2009; Poděbradský & Vařeka, 1998).

Celková studená norná koupel

Teplota velmi studené koupele je v rozmezí 6-15 °C, pro studenou koupel 16-33 °C (Navrátil, 2019). Je možné ji využívat samostatně, zároveň i jako součást sauny. Reakce organismu na chladový podnět je daná teplotou krve v hypotalamu. Pokud thalamem protéká krev o normální teplotě, představuje chladový podnět pro organismus stres a přináší s sebou možná rizika až vagovou smrt (Poděbradský & Poděbradská, 2009). Mezi první reakce kardiiovaskulárního systému patří vazokonstrikce a tachykardie (Navrátil, 2019).

Priessnitzovy obklady

Jedná se o třívrstvý obklad složený ze studeného vlhkého obkladu, nepromokavé látky a suchého teplého obkladu. Cílem je dosažení lokálního prokrvení. Po aplikaci dochází k lokální

vazokonstrikci, stabilizaci teploty, vazodilataci s následným zvýšením teploty a lokálním prohrátím. Obklady můžeme využít k relaxaci svalstva (Navrátil, 2019).

Částečná studená koupel

Můžeme sem zařadit studenou koupel dolních, horních končetin a studenou sedací koupel (Navrátil, 2019). V rámci autoterapie se může využívat chůze v mokré trávě nebo ve sněhu (Poděbradský & Vařeka, 1998). Jedná se o koupele v rozmezí teplot 5-20 °C a doby aplikace 5-20 minut. Využívají se u poruch prokrvení daných částí těla (Navrátil, 2019).

Instantní kompresy

Pod tímto názvem se nacházejí procedury, které využívají průmyslově vyrobené sáčky umožňující rychlou a snadnou aplikaci lokálních chladových procedur. V sáčku se nachází látka, která spotřebovává teplo. Výhodou je možnost jejich opakovaného použití (Poděbradský & Vařeka, 1998).

Polevy

Jsou procedurou, která pro aplikaci využívá souvislého vodního proudu bez tlaku, na povrchu těla vytvářejícího tzv. vodní plášť (Poděbradský & Vařeka, 1998). Využívá se taková teplota, kterou pacient zvládne, nejčastěji se pohybujeme mezi 24-28 °C po dobu dvou minut a končí se při zarudnutí kůže (Poděbradský & Vařeka, 1998). Po aplikaci se setře voda pouze rukama, pacient se obléká a pohybuje se do získání pocitu tepla. Existuje více druhů plevů podle jednotlivých částí těla. Mezi společnou indikaci patří poruchy prokrvení daných částí těla, tonizace svalstva, případně celková relaxace u celkověji působících plevů (Poděbradský & Vařeka, 1998).

Sprchy

Jsou vhodné pro autoterapii. Podstatou je využití mechanické energie vody, leží tedy na pomezí plevů a ostříků (Poděbradský & Vařeka, 1998).

V rámci kryoterapie se dá voda používat i ve formě ledu, je to velice jednoduchá metoda ochlazení (Poděbradský & Vařeka, 1998).

Ledová norná koupel

Tato koupel se skládá z 1/3 ledu a 2/3 studené vody. Využívá se u čerstvých úrazů a pooperačních stavů ke snížení otoku a bolestivosti (Poděbradský & Vařeka, 1998).

Ledová tříšť

Tříšť je nasypaná do froté ručníku nebo plastového sáčku (Poděbradský & Vařeka, 1998).

Ledová masáž

K masáži se používá ledová kostka (Poděbradský & Vařeka, 1998).

Všechny tři výše zmíněné procedury se dají použít při svalové hypertonii, kdy se využívá lokální aplikace po dobu 5-10 minut (Poděbradský & Vařeka, 1998).

Ledové sáčky a kompresy

Využívá se ledové tříště nebo zmraženého ručníku s příměsí soli, díky ní jsou pomůcky i po zmražení dobře tvarovatelné. Kompresy mohou být vyráběné i průmyslově, jedná se o sáčky s látkou, která drží chlad. Jejich využití je po různých typech operačních výkonů a akutních úrazech (Poděbradský & Vařeka, 1998).

2.9.3 Kryoterapie/kryokomora

Jedna z forem kryoterapie je kryoterapie celotělová/kryokomora, při které na člověka působí extrémní chlad v rozmezí -110 až -150°C (Zeman, 2006). Podle Navrátila (2019) může chlad dosahovat teplot až -180°C. Této metodě se připisují léčebné a regenerační účinky. Procedura probíhá ve dvou komorách, v první se pohybují teploty okolo -60 °C, je to komora, kde se začíná a končí. Následuje hlavní komora s teplotami mezi -110 až -120 °C, ale mohou být i nižší (Zeman, 2006). Může se jednat i pouze o jednu komoru, kryosaunu pro jednu osobu. Teploty v ní jsou však vyšší, v rozmezí -30 až -70 °C (Navrátil, 2019; Poděbradský & Poděbradská, 2009). V komorách se nachází technický suchý vzduch. Dále se k ochlazení může využít kapalný dusík nebo elektřina (Navrátil, 2019; Poděbradský & Poděbradská, 2009). Při vstupu do komor je člověk oblečen pouze minimálně. Základním vybavením jsou šortky, ponožky, rukavice, čelenka, ústní rouška, dřeváky a pro ženy podprsenka. Je nutné sundat veškerý kov z těla (Poděbradský & Poděbradská, 2009). Doba pobytu v hlavní komoře je 150 s, poté následuje znovu komora s vyšší teplotou a přechod do pokojové teploty. Čas pobytu je také dán tolerancí jedince, v žádném případě se nesmí objevit třes (Poděbradský & Poděbradská, 2009). Účinky této terapie jsou dané extrémně chladným a suchým vzduchem, který způsobuje výraznou vazokonstrikci na periférii, zvýšení látkové výměny a výrazné snížení kožní teploty. Díky suchému vzduchu není riziko omrzlin (Navrátil, 2019; Zeman, 2006). Terapie má pozitivní účinky u nemocí pohybového systému, kde působí analgeticky a zlepšuje hybnost. Bolest je ovlivněna inhibicí nociceptorů a zlepšení hybnosti je dáno snížením svalového tonu. Využívá se také k regeneraci vrcholových sportovců a zvýšení výkonnosti (Navrátil, 2019; Zeman, 2006). Cílem je dlouhodobá reaktivní vazodilatace. Po obrovském podráždění chladových receptorů dochází k vyplavení endorfinů a euforii (Poděbradský & Poděbradská, 2009).

2.10 Metodiky otužování ve sportu

Mezi často využívané druhy chladové intervence patří ponoření do studené vody, celotělová kryoterapie, aplikace chladného vzduchu nebo ledové sáčky (Hohenauer et al., 2015).

Bieuzen, Bleakley a Costello (2013) k nim přidávají ledovou masáž a Bleakley et al. (2012) ještě chladivé krémy nebo gely.

Ponoření do studené vody může být celkové nebo částečné (Peiffer, Abbiss, Watson, Nosaka, & Laursen, 2009), aplikované jednou nebo několikrát po sobě (Broatch, Petersen, & Bishop, 2017; Frohlich et al., 2014). Efekt je popisován na základě lokální vazokonstrikce a hydrostatického tlaku díky studené vodě a hloubce ponoření (Wilcock et al., 2006). Malta, Dutra, Broatch, Bishop a Zagatto (2021) popisují využití k urychlení regenerace mezi jednotlivými tréninky a uvádí pozitivní efekt na adaptaci během vytrvalostního tréninku.

Při aplikaci chladové intervence záleží na dané modalitě (Hohenauer et al., 2015), ale pro ponoření do studené vody jsou podle Machada et al. (2016) ideálními parametry teplota 11-15 °C a délka trvání 11-15 min. Hohenaur, Taeymans, Baeyens, Clarys a Clijsen (2015) jako nejlepší uvádí 10 °C a 13 min. Versey, Halson a Dawson (2013) doporučují podobnou teplotu 10-15 °C, ale spodní hranici délky trvání se od obou liší, podle nich je ideální 5-15 min. Zároveň tvrdí, že délka trvání se může odvíjet od teploty vody a důležitou roli hraje i čas mezi cvičebními jednotkami. K tomu se připojuje Wang et al. (2021) a tvrdí, že chladová intervence má větší účinek ihned po cvičení.

Celotělová kryoterapie se skládá z krátké (2-4 min) trvající expozice chladnému vzduchu (-100 – -140 °C) ve speciálních místnostech. Účastníci si oblékají pouze minimum oblečení. (Banfi et al., 2010; Bleakley, Bieuzen, Davison, & Costello, 2014). Může být efektivnější k ochlazení povrchových vrstev než ponoření do studené vody. Ale tento efekt přetrvává pouze krátkodobě (Holmes & Willoughby, 2016). Využívá se především k odstranění bolesti, snížení otoku, příznaků DOMS, subjektivního hodnocení námahy, markerů krevní plasmy (CK a laktát) a cytokinů krevní plasmy (CRP), (Ascensao et al, 2011; Banfi et al., 2010; Costello et al, 2012; Pointon et al., 2011).

2.11 Benefity otužování

Podle Zemana (2006) se mezi základní benefity řadí habituace, kdy dochází ke zmírnění reakce na opakované působení chladu. Po dlouhodobějším působení se objevuje větší odolnost vůči nemocem, lepší zvládnání stresu a chlad má vliv i na hodnoty krevního tlaku.

Specificky na sport orientovanými benefity může být snížení DOMS, pocíťované subjektivní námahy, otoku svalů, zrychlení regenerace mezi tréninky nebo soutěžemi a zlepšení výkonu (Malta, Dutra, Broatch, Bishop, & Zagatto, 2021; Versey et al., 2013; Wang et al., 2021; White & Wells, 2013).

2.11.1 Benefity otužování generalizované na celý organismus

Mezi základní benefity vystavování se chladu patří habituace, kdy se zmírní reakce na působení chladu při opakované expozici. Opakovaná expozice chladu také přináší lepší odolnost organismu na nemoci z nachlazení (Zeman, 2006).

Systematické vystavování se chladu vede ke stimulaci imunitního systému a většímu množství imunoglobulinů v těle, proto má otužování pozitivní vliv na reakci organismu na krátké a náhlé prochlazení (Zeman, 2006). Chladová expozice vede k větší stimulaci glukokortikoidů, ty v organismu působí protizánětlivě a imunosupresivně, proto větší množství IgA, které se u otužilců objevuje, může způsobovat jejich nižší nemocnost. Mají totiž ochrannou funkci na sliznice. Otužování a expozice chladu má na imunologickou reaktivitu vliv, ale je dána i jinými faktory jako je zaměstnání, každodenní stres, bydlení a další (Zeman, 2006).

Menší nemocnost u otužilců se projevuje také nižší pracovní neschopností, neznamená to, že by otužilci neonemocněli, ale onemocnění se u nich objevuje v menší míře a mírnější formě. Jedná se především o akutní záněty dýchacích cest (Zeman, 2006). Otužování má tedy preventivní charakter vůči těmto nemocem, jeho využití má význam v celé širší společnosti, i u dětí, dospívajících a vrcholových sportovců (Zeman, 2006). Mechanismus, který zajišťuje nižší nemocnost otužilců, není ještě zcela známý. Předpokládá se vliv lepší reaktivity organismu na nízké teploty. U otužilců byla také prokázána vyšší teplota nosní sliznice, je tak menší šance k uchycení infekce (Zeman, 2006). Není zcela jasné, jestli má otužování vliv na nemocnost nebo je tento fakt daný i jinými vlivy. Je však jasné, že u otužilců je nemocnost nižší v porovnání s lidmi, kteří se neotužují, k tomu stačí i otužování ve smyslu omývání a sprchování studenou vodou, sportovní otužování má však příznivější vliv. Minimem pro získání lepší obranyschopnosti postačí 1-2 minuty plavání v ledové vodě 1-2krát týdně (Zeman, 2006).

Expozice chladu má své účinky i na krevní tlak. Podle studií na osobách žijících v arktických oblastech můžeme říct, že chlad snižuje krevní tlak oproti lidem žijícím v mírném pásmu. Podle Zemana (2006) se však hodnoty u otužilců výrazně neměnily, zůstávaly v mezích normy. Při chladové expozici naopak dochází ke zvýšení krevního tlaku. Tyto fyziologické reakce na chlad však mohou působit pozitivně, kdy udržují vyšší reaktivitu organismu a je tak možné předpokládat menší výskyt hypertenze u otužilců (Zeman, 2006).

Působení chladu na organismus, především ve formě vody, je významný stresový podnět. Tento fakt se u adaptovaných jedinců projevuje nižší produkcí kortizolu jak při opakované expozici, tak i během každodenních stresů. Vystavování se chladu vede k lepšímu zvládnání stresu v jakýchkoliv denních situacích (Zeman, 2006).

2.11.2 Tréninkové benefity otužování

Ponoření do studené vody je jedna z nejčastěji využívaných metod ve sportu k urychlení regenerace mezi jednotlivými tréninky (Malta et al., 2021). Je často využíváno sportovci k minimalizaci únavy a zrychlení pozátěžové regenerace. Krátkodobá regenerace může zlepšit tréninkový nebo závodní výkon (Versey et al., 2013). Aktuální zlepšení stavu může být vnímáno pozitivně, ale zároveň snižuje dlouhodobou adaptaci na trénink (Ascensão et al., 2011; Peake, Neubauer, Della Gatta, & Nosaka, 2017; Pedersen, & Hoffman-Goetz, 2000). Podle Versey et al. (2013) pomáhá ponoření do studené vody zlepšit výkon v cyklistice, běhu, lezení, vertikálním výskoku a silových testech dolních končetin. Nižší teplota těla může být také výhodou u dlouhotrvajících cvičení a cvičení v horku (Quod, Martin, & Laursen, 2006; Ranalli et al., 2010).

Redukce teploty kůže je důležitým faktorem ke snížení sekundárních následků. Snížená teplota tkání zpomaluje nervové vedení, omezuje spasmus, citlivost na bolest a způsobuje vazokonstrikci, což vede ke snížení otoku (White & Wells, 2013). Vliv chladových metod na snížení otoku závisí na jejich schopnosti ochladit tkáň (Holmes & Willoughby, 2016). S rostoucí dobou mezi cvičením a ponořením do studené vody se účinnost snižuje. Dochází k tomu, že bolestivost ovlivňuje hlubší tkáň a chlad má vliv pouze na 1-2 povrchové centimetry (Wang et al., 2021). Celotělová kryoterapie může být efektivnější k ochlazení povrchových vrstev než ponoření do studené vody. Tento efekt však vydrží pouze krátkodobě, po 60 min je teplota kůže nižší po ponoření do studené vody (Holmes & Willoughby, 2016).

Aplikace ponoření do studené vody do jedné hodiny po cvičení může mít pozitivní vliv na redukci bolesti u atletů s DOMS a může tak pomoci regeneraci po DOMS (Wang et al., 2021). Cheung, Hume a Maxwell (2003) a Zhao et al. (2017) popisují DOMS jako pocit bolesti a tuhosti svalů po absolvované sportovní aktivitě. Cheung et al. (2003) dále dodává, že DOMS je způsobena nahromaděním laktátu, spasmem svalů, úrazem daného svalu a otokem. Leeder, Gissane, van Someren, Gregson a Howatson (2012) a Hohenauer et al. (2015) uvádí, že nejlepší využití ponoření do studené vody je po náročném cvičení, trénincích nebo závodech s pozitivním vlivem až 96 h po aplikaci. Wang et al. (2021) dodává statisticky nižší bolestivost 24 h po aplikaci. Podle Costella et al. (2016) ponoření do studené vody ovlivňuje bolestivost díky snížení svalového metabolismu, kožní mikrocirkulace, senzitivity receptorů a zpomalení nervového vedení.

Ponoření do studené vody díky své primární schopnosti snížit teplotu tkání a průtok krve dále zlepšuje zotavení z hypertermie a redukuje změny v CNS, snižuje kardiovaskulární zátěž, odstraňuje nahromaděné metabolity ve svalech, zmírňuje pozátěžové poškození svalů a zlepšuje funkci autonomního nervového systému (Ihsan, Watson, & Abbiss, 2016). Díky snížení únavy

CNS se zlepšuje produkovaná síla (Wakabayashiet al., 2008) a reaktivace parasymptiku následovaná po ponoření do studené vody je důležitá pro vysoce intenzivní výkon (Ihsan et al., 2016).

3 CÍLE

Hlavním cílem této bakalářské práce je vytvořit systematický přehled randomizovaných kontrolovaných studií zkoumajících fyziologické reakce organismu na pozátěžové ponoření do studené vody.

Dílčí cíle

- 1) Zjistit vliv ponoření do studené vody na celkovou regeneraci.
- 2) Zjistit vliv ponoření do studené vody na svalovou sílu.
- 3) Zjistit vliv ponoření do studené vody na poškození svalů.
- 4) Zjistit vliv ponoření do studené vody na bolestivost svalů.

Výzkumné otázky

- 1) Jaké jsou fyziologické reakce na ponoření do studené vody?
- 2) Jaký má ponoření do studené vody vliv na regeneraci?
- 3) Jaké jsou nejlepší parametry ponoření do studené vody?
- 4) Jak působí ponoření do studené vody na různé typy pohybové aktivity?

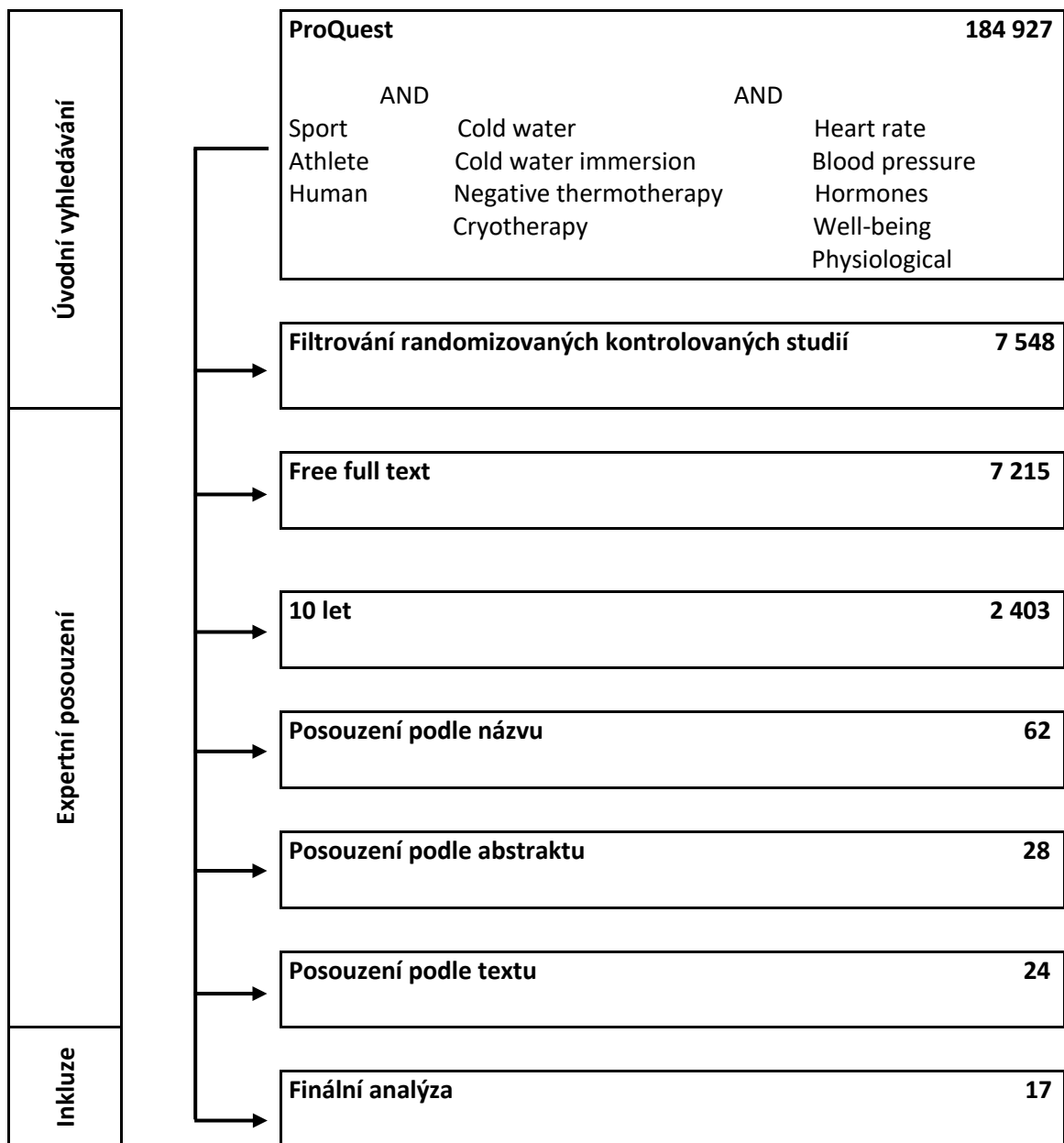
4 METODIKA

Soubor vybraných studií byl vytvořen v lednu 2023. Studie byly vyhledávány pomocí databáze ProQuest. Vyhledávané studie se zabývaly pozátěžovým účinkem studené vody na člověka.

Při vyhledávání studií byla využita strategie PICO. K popisu zkoumané populace byla použita slova: sport, athlete a human. V oblasti intervence byla použita slova a slovní spojení jako: cold water, cold water immersion, negative thermotherapy a cryotherapy. Slova popisující výstup hledaných studií byla: heart rate, blood pressure, hormones, well-being, physiological. Při vyhledávání byly vždy využity trojkombinace slov z jednotlivých oblastí, tak aby se slova kombinovala každé s každým. Celkově tak bylo nalezeno 184 927 studií. 7548 studií zůstalo po filtrování na randomizované kontrolované studie. Dále byly využity filtry na free full text (7215 studií) a období deseti let (2043 studií).

Následovalo expertní posouzení vhodnosti vybraných studií, které se skládalo z posuzování podle názvu, abstraktu a plného textu. Po zhodnocení názvu prošlo dále 62 studií. 28 studií postoupilo po přečtení abstraktů k hodnocení plného textu. Po přečtení plného textu zbylo 24 studií. Z těchto studií bylo k finální analýze provedené v této práci vybráno 17 studií, rozdíl tvoří metaanalýzy, které se týkaly daného tématu.

V rámci této práce se tedy pracuje se 17 studiemi. K jejich základnímu seznámení byla použita jména autorů, rok vydání studie, název časopisu, cíl studie a počet citací, které byly převzaty z Google Scholar k 2. 2. 2023.



Obrázek 1. Popis vyhledávacího procesu

5 VÝSLEDKY

Randomizované kontrolované studie k analýze v této práci byly vyhledávány v databázi ProQuest v celkovém počtu 7548. Po přidání dalších kritérií, free full text a období 10 let, zbylo k expertnímu posouzení 2403 studií. Expertní posouzení sestávalo z hodnocení názvů, abstraktů a plného textu, tímto procesem prošlo 24 studií. Během finální analýzy bylo vyřazeno 7 metaanalýz, které se týkaly tématu. Studie v této práci se zabývaly pozátěžovým účinkem ponoření do studené vody na člověka. Studií zabývajících se studenou vodou v oblasti sportu a jejím využitím je velké množství. Je alesložitě najít studie, které by měly stejné schéma. Liší se ve výzkumném vzorku, typu sportu, teplotě vody, délce působení vody, hloubce ponoření, ale i v parametrech, které autoři využívají ke zhodnocení vlivu studené vody na regeneraci.

5.1 Charakteristika vybraných studií

Tabulka 1 obsahuje kompletní výčet analyzovaných studií v této práci. K základnímu seznámení se studii byly vybrány tyto údaje: jméno autora, rok vydání studie, cíl, který si daná studie stanovila, časopis, ve kterém byla publikována a počet citací převzatých z Google Scholar k 2.2. 2023. Vzhledem k malému počtu studií bylo jako hlavní znak k identifikaci studií vybráno jméno autora a rok vydání.

V tabulce 2 najdeme popis výzkumného vzorku jednotlivých studií. K charakterizování výzkumných vzorků byl použit celkový počet probandů, případně jejich rozdělení s udávaným počtem ve skupině, pohlaví, počet mužů a žen, průměrný věk a výkonnostní charakteristiky.

Design jednotlivých studií je rozpracován v tabulce 3. V tabulce můžeme najít aktivity, které autoři používali jako zátěžovou situaci pro probandy, teplotu a čas působení použité vody, metabolickou náročnost aktivity, četnost ponoření a výšku hladiny vody při ponoření. Kritériem, kterým se shoduje nejvíce studií, je četnost ponoření. 15 ze 17 studií využilo pouze jednoho ponoření, vždy se jednalo o ponoření maximálně 10 minut po skončení dané aktivity. Zbývající dvě studie, Glasgow, Ferris a Bleakley (2014) a Siqueira et al. (2018) využily ponoření vícekrát. V první studii to bylo 3x a ve druhé 4x, vždy se jednalo o opakované ponoření po 24 h. Druhým kritériem podobným pro většinu studií byla metabolická náročnost použité aktivity. 12 studií využívalo aktivity anaerobního charakteru, aktivity ve zbývajících studiích se dají označit jako aerobně/anaerobní. Čas působení vody se pohyboval v rozmezí od 1 minuty, kdy autoři použili několikanásobnou aplikaci až po 20 minut, v tomto případě byla aplikace rozdělena na kratší intervaly. Nejoblíbenějším intervalem pro ponoření bylo 15 minut. Nejvíce rozdílným kritériem vedle použité aktivity byla teplota použité vody. Teplota se pohybovala od 1,45 °C až do 15 °C.

Teplota 10 °C byla použita pěti studii a stala se tak nejčastěji použitou teplotou vody. Mezi aktivitami využitými jednotlivými autory můžeme najít silové aktivity, intervalové tréninky na ergometru, veslovacím trenažeru nebo běžeckém pásu, trénink výskoku i tréninky sportovních her. Posledním kritériem, které v tabulce najdeme, je výška hladiny vody. Nejčastější polohou při ponoření byla poloha vsedě, kdy hladina dosahovala po crista iliaca. Pouze tři studie využily polohu vestoje. Výška hladiny se pohybovala od crista iliaca až po krk, což byl nejvyšší bod.

V poslední tabulce 4 nalezneme výsledky jednotlivých studií a vliv pozátěžového ponoření do studené vody na svalovou sílu, svalové poškození a bolestivost svalů.

5.2 Charakteristika účastníků studií

Celkem 491 probandů se zúčastnilo sedmnácti vybraných studií. Z celkového počtu bylo 418 mužů a 73 žen. Žádná ze studií se nevěnovala výhradně ženám, pokud se ženy ve výzkumech objevily, tak vždy byly v kombinaci s muži. Jednalo se o 4 studie. Počet probandů v jednotlivých studiích se pohyboval od nejmenšího počtu 6 až po největší počet 100 probandů. Průměrný věk všech účastníků studií byl 25,89 let. Getto a Golden (2013) ve své studii neuvádí věk probandů. Průměrný věk se pohyboval od 18,23 let až do 31,5 let. Většina studií popisovala výkonnostní charakteristiky pouze slovně. Deset studií pracovalo s univerzitními sportovci nebo sportovci na profesionální úrovni. Zbylé studie pracovaly s rekreačními sportovci nebo fyzicky aktivními jedinci.

5.3 Design studií

K rozboru v této práci byly využity randomizované kontrolované studie, to znamená, že se jedná o studie, kde figurují nejméně dvě skupiny účastníků. Jedna skupina je skupinou kontrolní a nepodstupuje žádnou intervenci, skupina druhá je skupinou experimentální a podstupuje danou intervenci, kterou si autoři zvolí. Na základě těchto dvou skupin mohou autoři porovnávat vliv dané intervence. Rozřazení do těchto skupin probíhá náhodně. Ve všech analyzovaných studiích bylo jako intervence použito pozátěžové ponoření do studené vody. Autoři studií poté zjišťovali, jaký efekt se objeví v následující zátěži, případně jaký bude efekt na regeneraci. Zátěžové aktivity využívané před samotným ponořením se ve všech studiích lišily. Většina (12) studií využívala aktivity anaerobního charakteru, pouze 5 studií využívalo aerobní až aerobně/anaerobní aktivity. Mezi aerobní až aerobně/anaerobní aktivity patří tréninkové jednotky jednotlivých sportů (rugby, jiu-jitsu a fotbal), dále chůze a běh na běžeckém pásu a kruhový trénink. Anaerobní aktivity se dají rozdělit na silové cvičení dolních končetin a cvičení (Wingate test) na ergometru nebo běžeckém pásu. Aktivity zaměřené na dolní končetiny

využívaly posilování vybraných svalových skupin (2x), výskoky (6x), sprint (1x) (Tabulka 3). Tři studie použily kombinaci silového cvičení a zátěže na ergometru. Pouze dvě studie použily identickou aktivitu, jednalo se o 5x20 seskoků ze 60 cm. Cvičení na ergometru využívalo 7 studií, 3 z nich použily přímo Wingate test. Zátěžové cvičení bylo prováděno na bicyklovém ergometru (4 studie), na běžeckém pásu (2 studie) a 1 studie využila veslovacího trenažéru. Tři studie pak spojily zátěž na ergometru se silovým cvičením. Ke kombinaci silového cvičení a sportu nebo zátěže na ergometru a sportu nedošlo.

Po prvotní zátěži následovalo ponoření do studené vody. Parametry (teplota vody, čas působení, četnost ponoření a výška hladiny) této intervence se mezi studii velice lišily. Nejčastější teplotou vody bylo 10 °C (5 studií), ostatní teploty (5 °C, 6 °C, 8 °C, 9 °C, 12 °C, 14 °C, 15 °C) byly použity vždy ve dvou studiích. Pouze teplota 1,45 °C byla použita jen jednou. Tři ze studií pak využily dvě různé teploty.

Délka působení studené vody se ve vybraných studiích pohybovala od 1 min do 20 min. Nejčastěji ponoření trvalo 15 min (6x), poté 10 min (4x) a 5 min (3x). Časy 12, 20 a 3x1min byly využity vždy jednou studií. Tři studie využívaly přerušované ponoření s různými intervaly ponoření (2, 4, 9 min) s pauzou 1 min.

Ve všech studiích došlo k ponoření do studené vody ihned po dané zátěži. Pouze dvě studie využily opakovaného ponoření po 24, 48 a 72 hodinách.

Výška hladiny vody byla také rozdílná, v šesti studiích hladina vody dosahovala do výšky crista iliaca, 3x se probandi ponořili do vody až po krk (celé tělo), 2 studie využily ponoření po processus xiphoideus a další dvě po spina iliaca anterior superior. Jedenkrát pak bylo využito ponoření po rozkrok, po pas a po umbilicus. Jedna ze studií neudávala, kam dosahovala výška hladiny při ponoření.

5.4 Porovnání vybraných studií

Vybrané studie byly porovnávány v oblastech hodnotících efekt pozátěžového ponoření do studené vody na svalovou sílu, poškození a bolestivost svalů. Jednotlivé studie měly výstupy hodnotící i jiné oblasti, ale výše zmíněné se promítaly přes největší počet studií. Všechny tři hodnocené oblasti byly zkoumány v sedmi ze sedmnácti studií. 9 studií zkoumalo vliv na svalovou sílu, 12 zkoumalo vliv na svalové poškození a 10 hodnotilo vliv na bolestivost svalů. 3 z vybraných 17 studií nezapadaly ani do jedné hodnocené oblasti. Adams, Butke, Lee a Zaplatosch (2021) hodnotili velikost a rychlost ochlazení na požadovanou T_{REC} při použití CWI oproti PASS (pasivní odpočinek) a PB (Polar Breeze machine, vzduch o teplotě 22.2 °C). Sanchez-Ureña, Nakamura, Gutiérrez-Vargas, Gutiérrez-Vargas a Rojas-Valverde (2021) zkoumal vliv CWI na teplotu kůže a

Almeida et al. (2015) porovnával, jaká teplota a délka trvání CWI je nejlepší pro regeneraci srdečních parametrů.

Jak je zmíněno výše, 9 ze 17 studií ve svých výsledcích hodnotilo vliv CWI na svalovou sílu. 3 z těchto 9 studií neprokázalo žádné signifikantní změny po použití CWI. Výsledky ostatních studií se dají rozdělit na dvě skupiny, 6 studií popisuje zvýšení svalové síly a 3 studie hodnotily rychlost návratu na bazální hodnoty ve zkoumaných parametrech.

Co se týče svalové síly, i zde můžeme studie rozdělit do dvou skupin, které se shodují svými výsledky. V první skupině studie 8., 11. a 14. využily testu CMJ (counter movement jump, výskok z protipohybu) k hodnocení svalové síly. U všech se objevily lepší výsledky po CWI, studie 8. specifikuje svůj výsledek časem 48 hodin po zátěži. Druhá skupina pěti studií (1., 8., 11., 13., 16.) se shoduje na celkovém zvýšení svalové síly po využití CWI. Hayter, Doma, Schumann a Deakin (2016) však popisují postupný pokles zvýšené svalové síly během 72 hodin. Studie 11. a 16. se shodují na pozitivním efektu zvýšení maximální volní kontrakce, kdy Pointon, Duffield, Cannon a Marino (2011) popisuje tento efekt již 2 hodiny po CWI. Fakhro, AlAmeen a Fayad (2022) hodnotili svalovou sílu pomocí 1-RM (jedno opakovací maximum) a uvádí statisticky významné zlepšení tohoto parametru 72 hodin po zátěži.

Tři studie porovnávaly dobu návratu zkoumaných parametrů na bazální hodnoty, dvě z těchto studií hodnotily obecně svalovou sílu. Fakhro et al. (2022) popisuje návrat na bazální hodnoty po 72 hodinách a pouze u skupiny, která podstoupila CWI, oproti tomu ve studii Siqueira et al. (2018) došlo k návratu až po 168 hodinách, ale stejný výsledek se ukázal i u kontrolní skupiny. Studie (16.) Pointona et al. (2011) popisovala konkrétně volní aktivaci a maximální volní kontrakci. Hodnoty volní aktivace se vrátily na základní úroveň po 2 hodinách, hodnoty maximální volní kontrakce až po 24 hodinách.

Účinky CWI na svalové poškození popisuje 12 ze 17 vybraných studií. U tří z těchto dvanácti se neobjevily signifikantní změny. Svalové poškození bylo ve studiích reprezentováno množstvím kreatinkinázy (CK) nebo laktátu po použití CWI. CK k hodnocení poškození svalů využilo 5 studií a zjišťovaly vyšší, nižší hodnoty a rychlost návratu na bazální hodnoty.

Vyšší hodnoty CK se objevily ve výsledcích třech studií, kdy dvě udávají, že se neobjevil rozdíl mezi experimentální a kontrolní skupinou. Obě tyto studie také popisují zvýšení 24 hodin po zátěži, studie 16. popisuje zvýšení dokonce ihned po zátěži a po celou dobu 24 hodin. Oproti tomu Hayter et al. (2016) udává zvýšení až 72 hodin po zátěži.

Roonkiani, Ebrahimi a Majelan (2020) popsali nižší hodnoty CK ihned po aplikaci CWI a jsou v rozporu se studii 8. a 16., u kterých se 24 hodin po zátěži objevily zvýšené hodnoty. Roonkiani et al. (2020) však 24 hodin po zátěži popsal signifikantní snížení hodnot CK.

Studie (8. a 14.) hodnotící rychlost návratu hodnot CK na základní hodnoty se shodují, že k návratu po CWI dochází po 72 hodinách. Fakhro et al. (2022) popisuje signifikantní snížení již po 48 hodinách. U kontrolní skupiny ve studii Siqueiry et al. (2018) došlo ke snížení těchto hodnot až po 168 hodinách, což je dvojnásobný čas oproti CWI.

Laktát k hodnocení použilo také 5 studií. Pouze jednu studii (Roonkiani et al. 2020) můžeme zařadit do obou oblastí, neboť použila jak CK, tak i laktát. Těchto pět studií zkoumalo množství laktátu po CWI.

Obě studie popisující vyšší hodnoty laktátu využilo CWI mezi dvěma sériemi cvičení a udávají vyšší hodnoty na začátku druhé části cvičení. V obou případech byly hodnoty po aplikaci CWI zvýšené. Studie 15. zkoumala použití dvou teplot vody, kdy u studenější vody (8 °C) byla hladina laktátu vyšší, studie 6. použila vodu o teplotě 10 °C.

Ve čtyřech studiích byla popsána nižší hodnota laktátu po CWI. Roonkiani et al. (2020) popsal nižší hodnoty ihned po aplikaci a zároveň se shoduje s Fonsecou et al. (2016), kdy oba popisují snížení 24 hodin po zátěži, Roonkiani et al. (2020) dokonce signifikantní. Ve studii 15. hodnotící dvě teploty vody se ukázaly nižší hodnoty laktátu po CWI o teplotě 15 °C v momentě odmítnutí při srovnání s kontrolní skupinou.

Studie Siqueiry et al. (2018) hodnotila kromě množství CK také rychlost návratu muscle thickness na bazální úroveň se signifikantním rozdílem 24 hodin po zátěži.

Bolestivosti svalů po aplikaci CWI se věnovalo 10 ze 17 studií u tří se neobjevují žádné signifikantní rozdíly mezi danými skupinami, pouze jedna specifikuje výsledky časem 24 hodin. Výsledky ostatních studií můžeme rozdělit do skupin vyšší, nižší bolestivost a rychlost návratu bolesti na základní hodnoty.

U dvou studií (1. a 11.) se objevují vyšší hodnoty bolestivosti, přičemž se obě liší časem, kdy se tyto hodnoty projeví. Ve studii Pournota et al. (2011) k tomu došlo již 24 hodin po zátěži, 72 hodin po zátěži se toto zvýšení projevilo ve studii Haytera et al. (2016).

Nižší hodnoty bolestivosti popisuje pět studií (2., 4., 9., 13., a 16.). Takeda et al. (2014) a Pointon et al. (2011) se shodují na snížení ihned po aplikaci CWI. Ve studii 13. se stejný výsledek objevil 24 hodin po zátěži. Glasgow et al. (2014) porovnávající dvě teploty a dva časy působení popsal nejmenší bolestivost po CWI o teplotě 6 °C trvající 10 minut.

Pouze dvě studie se zabývaly návratem bolestivosti na základní hodnoty, jednalo se o studie 8. a 14. Fakhro et al. (2022) popsal návrat 72 hodin po zátěži, kdy statistická významnost tohoto zjištění se objevuje již po 48 hodinách. Oproti tomu ve studii Siqueiry et al. (2018) se bolestivost vrátila na základní hodnoty až po 168 hodinách.

Pokud se nebudeme zaměřovat na jednotlivé oblasti výsledků studií, zjistíme, že po aplikaci CWI se objevila lepší regenerace u 10 studií z vybraných 17. Vliv na regeneraci byl vždy

odvozen na základě zkoumaných parametrů nebo porovnávaných skupin. Parametry, z nichž autoři vycházeli, se mezi studii lišily. Hayter et al. (2016) a Pournot et al. (2011) se shodují v tvrzení, že aplikace CWI způsobila lepší regeneraci po anaerobním výkonu, kdy Hayter et al. (2016) toto tvrzení popisuje i 24, 48 a 72 hodin po výkonu. Pointon et al. (2011) se k němu přidává, na základě jeho studie CWI zvýšila výkon maximální volní kontrakce a aktivace. Studie 9. a 11. ve svých výsledcích popisují snížení otoku, obě se na tomto tvrzení shodují, rozdílem je však teplota použité vody. Kusuma et al. (2021) ve svém výzkumu použil vodu o teplotě 5 °C, kdežto Pournot et al. (2011) využil vodu o pět stupňů teplejší. Doba ponoření byla v obou případech stejná, a to 15 minut. Dalším parametrem, na základě kterého byl hodnocen efekt CWI na regeneraci, bylo svalové poškození a markery k němu se pojící. Těchto parametrů se drželo 5 z výše uvedených 10 studií. Všechny tyto studie se shodují, že CWI zlepšila regeneraci, případně snížila množství markerů svalového poškození.

Žádné signifikantní rozdíly mezi výsledky jednotlivých skupin se neobjevily u 5 studií, dvě z nich jsou i studie potvrzující lepší regeneraci. Takeda et al. (2014) dále udává negativní vliv CWI na svalové poškození, je tak v rozporu s pěti studii (9., 13., 14., 16., 17.), které potvrzují pozitivní vliv. K negativnímu efektu se přidávají studie Leal Juniora et al. (2010) a Siqueiry et al. (2018), které tvrdí, že CWI nemá vliv na svalovou regeneraci. Jsou tak v rozporu s deseti studii popisujícími pozitivní vliv na svalovou regeneraci.

Hayter et al. (2016), který porovnával CWI a CAT (terapii studeným vzduchem), popisuje, že k lepší regeneraci, která byla u CWI dosažena, přispívá kombinace hydrostatického tlaku a chladu.

Čtyři studie pak popisovaly odlišné efekty CWI na organismus. Adams et al. (2021) zkoumal rychlost ochlazení při použití CWI, PASS (pasivní odpočinek) a PB (Polar Breeze machine, vzduch o teplotě 22.2 °C). Kdy CWI způsobilo nejrychlejší ochlazení na požadovanou T_{REC} . Efekt na teplotu kůže zkoumal Sanchez-Ureña et al. (2021), z jeho výsledků však vyplývá, že se žádný efekt neobjevil. Použitím CWI k regeneraci srdečních parametrů se zabýval Almeida et al. (2015), k nejlepší regeneraci doporučuje CWI o teplotě 14 °C a délce trvání 15 minut. Poslední práce od Stanleyho, Peake, Coombes a Buchheit (2014) využila CWI mezi dvěma sériemi HIIT. Z výsledku vyplývá negativní efekt na přechod mezi anaerobní a aerobní prací. CWI totiž zpomalila kinetiku VO_2 a prodloužil se tak čas strávený anaerobní prací během druhého HIIT. Tento negativní efekt na vysoce intenzivní aerobní práci přetrval po dobu 45 minut.

Tabulka 1*Charakteristiky studií k finální analýze*

Autor	ID	Cíl studie	Časopis	Počet citací
Hayter et al. (2016)	S1	Porovnat efekt CWI a CAT na maximální cyklistický výkon a pozátěžové markery svalového poškození po silovém tréninku u vytrvalců, netrénujících silově.	PeerJ	22
Takeda et al. (2014)	S2	Zkoumat efekt pozátěžové CWI po tréninkovém zápase rugby na biochemické parametry svalového poranění a na funkční testy.	Journal of Sports Science and Medicine	64
Leal Junior et al. (2010)	S3	Porovnat efekt 5 min CWIT a 5 min LEDT na biochemické markery ukazující na regeneraci kosterních svalů po Wingate cyklistickém testu.	Lasers in Medical Science	138
Glasgow et al. (2014)	S4	Porovnat efektivitu čtyř nejpoužívanějších CWI strategií a pasivní regenerace ke zvládnutí DOMS.	Physical Therapy in Sport	149
Adams et al. (2021)	S5	Porovnat možnost ochlazení skrz vdechování studeného vzduchu, CWI a pasivní odpočinek po aktivitě způsobující hypertermii.	Journal of Athletic Training	1
Stanley et al. (2014)	S6	Zkoumat bezprostřední vliv CWI na tělesnou teplotu, kardiovaskulární funkce, hemodynamiku, dýchání a oksyličení svalů během vysoce intenzivní zátěže.	European Journal of Applied Physiology	41
Getto & Golden (2013)	S7	Porovnat vliv aktivní regenerace, CWI a pasivní regenerace po tréninku na bolestivost svalů, rychlost regenerace a explozivní sílu.	Athletic Training & Sports Health Care	24
Fakhro et al. (2022)	S8	Porovnat efekt TCWI a IM na svalové poškození, výkon a DOMS k identifikaci nejlepší metody pro regeneraci z EIMD.	Journal of Experimental Orthopaedics	0

Kusuma et al. (2021)	S9	Zhodnotit vliv 15minutové CWI (5 °C) a CWT po submaximálním kruhovém tréninku na profil laktátu, kortizolu, bolest, flexibilitu a psychosomatiku.	Journal of Physical Education and Sport	2
Sanchez-Ureña et al. (2021)	S10	Zhodnotit efektivitu přerušované nebo souvislé CWI na změnu teploty kůže během regenerace po zátěži.	Journal of Physical Education and Sport	0
Pournot et al. (2011)	S11	Porovnat efektivitu tří hydroterapeutických intervencí CWI, TWI, CWT a pasivní regenerace na anaerobní výkon a regeneraci.	European Journal of Applied Physiology	220
Almeida et al. (2015)	S12	Zjistit efekt CWI různé délky trvání a teploty na parametry HRV během regenerace.	Journal of Science and Medicine in Sport	40
Fonseca et al. (2016)	S13	Zhodnotit efekt CWI po tréninku jiu-jitsu na svalovou bolest, zánětlivou odpověď a svalovou sílu horních končetin.	Journal of Athletic Training	77
Siqueira et al. (2018)	S14	Zjistit efekt několikanásobného pozátěžového CWI během 72 h na svalové funkce, markery svalového poškození, systémový zánět a degradaci ECM.	Scientific Reports	26
Dunne et al. (2013)	S15	Zjistit efektivitu dvou CWI strategií (8 °C a 15 °C) mezi sériemi submaximálního běžeckého výkonu na výkon ve druhé sérii.	Journal of Science and Medicine in Sport	39
Pointon et al. (2011)	S16	Zkoumat efekt CWI na regeneraci neuromuskulárních funkcí (centrální a periferní mechanismy kosterních svalů) po tréninku týmového sportu v horku.	European Journal of Applied Physiology	92
Roonkiani et al. (2020)	S17	Zhodnotit efekt CWI na parametry svalového poškození po simulovaném fotbalovém tréninku mladých hráčů.	Biomedical Human Kinetics	1

Poznámka. Počet citací k 2. 2. 2023 z Google Scholar, CWI = cold water immersion (ponoření do studené vody), CAT = cold air therapy (ochlazení studeným vzduchem), CWIT = cold water immersion therapy (terapie ponořením do studené vody), LEDT = light emitting diode therapy (LED terapie), DOMS = delayed onset muscle soreness (opožděná bolest svalů), TCWI = total cold-water immersion (celkové ponoření do studené vody), IM = ledová masáž, EIMD = exercise-induced muscle damage (cvičením způsobené poškození svalů), TWI = temperate water immersion (ponoření do vody o mírné teplotě), CWT = contrast water therapy (kontrastní terapie), HRV = heart rate variability (variabilita srdeční frekvence), ECM = extracellular matrix (mezibuněčná hmota)

Tabulka 2*Charakteristiky výzkumných souborů jednotlivých studií*

ID	n	Pohlaví	Věk	Výkonnostní charakteristiky
S1	20; 10 CWI, 10 CAT	M: 10, Ž: 10	CWI 25,31 ± 6; CAT 22,5 ± 3,9	rekreační vytrvalostní sportovci (běžci, cyklisti), netrénovaní silově
S2	20; 10 CWI, 10 pasivní odpočinek	M: 20	20,3 ± 0,6	dobře trénovaní hráči ragby
S3	6	M: 6	20,67 ± 2,96	futsalisté z nejvyšší brazilské ligy
S4	50; 10: 3x1 min 38 °C/1 min 10 °C, 10: 3x1 min 10 °C, 10: 10 min 10 °C, 10: 10 min 6 °C, 10: kontrolní skupina	M: 32, Ž: 18	18–35	studenti univerzity Ulster
S5	12	M: 7, Ž: 5	26 ± 4	rekreačně aktivní probandi
S6	14	M: 14	25 ± 4	vytrvalostně trénovaní cyklisté
S7	23; 7 CWI, 8 AR, 8 kontrolní skupina	M: 13, Ž: 10	-	univerzitní sportovci
S8	60	M: 30, Ž: 30	19–44	fyzicky aktivní dospělí, jednoduché až středně náročné aktivity 3x týdně
S9	30	M: 30	18,23 ± 1,17	elitní sportovci
S10	40	M: 40	21,8 ± 2,76	fyzicky aktivní dospělí
S11	41; 9 TWI, 13 CWI, 10 CWT, 9 PAS	M: 41	21,5 ± 4,6	elitní sportovci – národní a mezinárodní soutěže (fotbal, ragby, volejbal)
S12	100; 19 G1, 19 G2, 18 G3, 20 G4, 20 kontrolní skupina	M:100	21,73 ± 2,92	fyzicky aktivní podle International Physical Activity Questionnaire (IPAQ)

S13	8; 4 CWI, 4 kontrolní skupina	M: 8	24 ± 3,6	vysoce trénovaní sportovci
S14	30; 15 CWI, 15 kontrolní skupina	M: 30	CWI 20,5 ± 1,4; kontrolní skupina 19,9 ± 1,4	fyzicky aktivní provozující jednoduché až středně náročné aerobní aktivity (cyklistika, běh) nebo sporty na rekreační úrovni 2-3x týdně
S15	9	M: 9	29 ± 7	univerzitní běžci na střední tratě nebo orientační běžci
S16	10	M: 10	19,9 ± 1,1	ragbisté v rugby league/union
S17	18; 10 CWI, 8 kontrolní skupina	M: 18	CWI 19,3 ± 0,5, kontrolní skupina 19,4 ± 0,8	profesionální fotbaloví hráči druhé Iránské divize

Poznámka. n = počet probandů, CWI = cold water immersion (ponoření do studené vody), CAT = cold air therapy (ochlazení studeným vzduchem), AR = active recovery (aktivní regenerace), TWI = temperate water immersion (ponoření do vody o mírné teplotě), CWT = contrast water therapy (kontrastní terapie), PAS = passive recovery (pasivní regenerace), M = muž, Ž = žena, hodnota průměru ± směrodatná odchylka

Tabulka 3*Designy analyzovaných studií*

ID	Aktivita	Teplota vody	Čas působení	Aerobní/anaerobní	Délka intervence	Četnost	Výška vody
S1	5 x 6 leg press, 3 x 6 předkopávání a zakopávání, 10 s cyklistický Wingate test	14 °C	15 min	anaerobní	-	1x (ihned po zátěži)	vsedě po crista iliaca
S2	80 min ragby	15 °C	10 min	aerobně/anaerobní	-	1x (do 5 minut po zátěži)	celé tělo bez hlavy a krku
S3	30 s Wingate test na ergometru	5 °C	5 min	anaerobní	-	1x (do 5 minut po zátěži)	ve stoji pod rozkrok
S4	3 série excentrické kontrakce hamstringů do únavy	10 °C, 10 °C, 6 °C	3x1 min, 10 min, 10 min	anaerobní	3 dny	3x, 5 minut, 24 a 48 h po zátěži	ve stoji po pas
S5	3x20 min (5 min chůze při sklonu 5 % při 30 % VO ₂ max, 15 min běhu při sklonu 1 % při 70 % VO ₂ max do 39,9 °C T _{REC})	1,45 °C	Do dosáhnutí 38,25 °C T _{REC}	aerobní	-	1x (ihned po zátěži)	vsedě po processus xiphoideus
S6	HIIT 1: 3x3 min intervaly, 30 min pauza, HIIT 2: 4x3 min intervaly na ergometru	10 °C	5 min	anaerobní	-	1x do 10 minut po prvním HIIT	ve stoji po umbilicus
S7	3x vertikální výskok nebo 2x sprint	10 °C	10 min	anaerobní	-	1x (do 10 minut po zátěži)	vsedě po hrudník
S8	5x20 seskoků ze 60 cm následovaných max. výskokem	12 °C	15 min	anaerobní	-	1x (ihned po zátěži)	vsedě, celé tělo bez hlavy a krku

S9	3x3 kruhový trénink (12 stanovišť, 6 opakování)	5 °C	15 min	aerobní	-	1x (ihned po zátěži)	vsedě po SIAS
S10	8x30 s výskoků	12 °C	12 min (2 min, 1 min pauza), 12 min	anaerobní	-	1x (ihned po zátěži)	-
S11	2x10 min (30 s CMJ, 30s pauza, 30s veslování, 30s pauza), 10 min pauza	10 °C	15 min	anaerobní	-	1x (ihned po zátěži)	vsedě po crista iliaca
S12	10x10 max. vertikálních výskoků, 5 min Wingate test na ergometru, 2. a 4. min 30 s sprint	9 °C, 14 °C, 9 °C, 14 °C	5 min, 5 min, 15 min, 15 min	anaerobní	-	1x (ihned po zátěži)	vsedě po SIAS
S13	40 min jiu-jitsu	6 °C	19 min (4x4 min, 1 min pauza)	Aerobní	-	1x (ihned po zátěži)	vsedě po krk
S14	5x20 seskoků ze 60 cm následovaných max. výskokem	10 °C	20 min	anaerobní	72 h	4x (do 10 minut, 24, 48, 72 h po zátěži)	vsedě po crista iliaca
S15	2x běh na běžeckém pásu, 5 min 50 % VO ₂ max, 5 min 60 % VO ₂ max, 90 % VO ₂ max do vyčerpání, mezi běhy CWI	15 °C, 8 °C	15 min, 15 min	anaerobní	-	1x do 5 minut po prvním běhu	vsedě po crista iliaca
S16	2x30 min, 15 m sprint každou minutu	9 °C	20 min (2x9 min, 1 min pauza)	anaerobní	-	1x (do 10 minut po zátěži)	vsedě po crista iliaca
S17	90 min fotbal	8 °C	10 min	aerobní	-	1x (ihned po zátěži)	vsedě po crista iliaca

Poznámka. VO₂max = hodnota maximálního objemu kyslíku, T_{REC} = rektální teplota, CMJ = counter movement jump (výskok z protipohybu), CWI = cold water immersion (ponoření do studené vody), HIIT = high intensity interval training (vysoce intenzivní intervalový trénink), SIAS = spina iliaca anterior superior

Tabulka 4*Výsledky analyzovaných studií*

ID	Výsledky	Svalová síla	Poškození svalu	Bolestivost svalů
S1	Žádné signifikantní rozdíly mezi regeneračními protokoly. Regenerace byla větší u CWI než u CAT pro cyklistický anaerobní výkon po 24, 48 a 72 hodinách. Kombinace hydrostatického tlaku a chladu může být lepší k regeneraci po silovém tréninku než chlad samotný.	24 h po zátěži CWI zvýšilo nejvyšší výkon ve wattech o 0,9 %, střední výkon a celkovou práci o 1,25 %. 48 h po zátěži CWI zvýšilo nejvyšší výkon ve wattech o 0,64 %. 72 h po zátěži o 0,76 %. 48 h po zátěži CWI zvýšilo střední výkon o 1 % a 72 h po zátěži o 0,57 %.	72 h po zátěži se CK u CWI skupiny projevovalo vyššími hodnotami. CAT hodnoty snížila o střední rozdíl (0,50).	72 h po zátěži se svalová bolestivost a únava u CWI skupiny projevovala vyššími hodnotami. CAT hodnoty snížila o střední rozdíl (0,59-0,63).
S2	Žádné signifikantní rozdíly mezi skupinami pro funkční testy a krevní markery. CWI nemělo regenerační efekt na svalové poškození. CWI může být užitečné po náročném cvičení k regeneraci únavy.	Žádné signifikantní změny mezi skupinami.	Žádné signifikantní změny mezi skupinami.	CWI ihned po aplikaci snížilo únavu. 24 h po zátěži nebyl rozdíl mezi skupinami.
S3	Žádný signifikantní efekt CWIT na výkon během Wingate testu. CWIT nesnížilo laktát a CK. Vliv CWIT na svalovou regeneraci zůstává nejasný.	Žádný signifikantní rozdíl v maximálním a průměrném výkonu ve Wingate testu.	CWI nesnížilo CK, laktát a CRP.	-
S4	Žádný signifikantní rozdíl vlivu na parametry mezi jednotlivými skupinami.	-	-	Nejmenší bolestivost po 10 min CWI v 6°C. Výsledek nebyl statisticky významný v porovnání s ostatními skupinami.

S5	Velikost ochlazení a rychlost dosažení T_{REC} byla rychlejší u CWI než u PASS a PB.	-	-	-
S6	CWI mezi HIIT zpomalila kinetiku VO_2 a zvýšila anaerobní práci během HIIT2. Tento škodlivý efekt CWI na vysoce intenzivní aerobní práci trval 45 min.	-	Laktát byl zvýšený ve skupině CWI na začátku HIIT2.	-
S7	Žádné signifikantní rozdíly mezi skupinami, co se týká vlivu na rychlost, sílu nebo bolestivost.	Čas ani typ skupiny neměly žádný signifikantní vliv na vertikální výskok a výkon ve sprintu.	-	Čas ani typ skupiny neměly žádný signifikantní vliv na bolestivost svalů.
S8	CWI mělo větší efekt oproti ledové masáži na regeneraci po zátěži.	Výkon v silových testech se vrátil na bazální hodnotu 72 h po zátěži pouze u skupiny využívající CWI. Zvýšení 1-RM začalo být statisticky významné 48 h po zátěži. Hodnoty CMJ začaly být statisticky významné již 24 h po zátěži.	Hodnota CK byla nejvyšší 24 h po zátěži u obou skupin. CWI snížilo hodnotu CK na bazální úroveň 72 h po zátěži. Statisticky významný rozdíl se objevil již 48 h po zátěži.	CWI snížilo bolestivost na bazální úroveň 72 h po zátěži. Hodnoty hodnocení bolestivosti začaly být statisticky významné 48 h po zátěži.
S9	CWI 5 °C po dobu 15 min zrychlilo regeneraci laktátu a kortizolu, snížilo otok, depresi, úzkost, stres a bolestivost svalů.	-	CWI snížilo množství laktátu a kortizolu.	CWI snížilo bolestivost svalů.
S10	CWI neměla efekt na teplotu kůže.	-	-	-
S11	CWI je efektivní k rychlé regeneraci maximálního anaerobního výkonu po přerušovaném vyčerpávajícím cvičení. CWI 10 °C 15 min má lepší	CWI statisticky zlepšilo MVC, CMJ a P_{30s} .	U skupiny CWI nedošlo ke zvýšení koncentrace CK 24 h po zátěži.	DOMS bylo vyšší u všech skupin 24 h po zátěži. Mezi skupinami nebyl signifikantní rozdíl.

efekt na otok a následný výkon již 1 h po vyčerpávajícím přerušovaném cvičení.				
S12	CWI 14 °C po dobu 15 min je nejlepší, pokud chceme regenerovat srdeční parametry.	-	-	-
S13	CWI (6 °C) snížilo laktát což vedlo ke snížení bolestivosti a zlepšení svalové regenerace 24 h po zátěži.	Po CWI byla větší svalová síla pro HKK a DKK oproti kontrolní skupině.	CWI snížilo množství laktátu 24 h po zátěži oproti kontrolní skupině.	CWI snížilo pociťovanou bolestivost 24 h po zátěži.
S14	Několik CWI snížilo svalové poškození, ale neovlivnilo celkový zánět a svalové funkce.	Svalová se síla se u obou skupin vrátila na základní úroveň 168 h po zátěži. Neobjevily se signifikantní rozdíly mezi skupinami. Hodnoty CMJ byly v celém testovacím období vyšší oproti kontrolní skupině.	U skupiny CWI se hodnota CK vrátila na základní hodnotu 72 h po zátěži. Hodnota CK se u kontrolní skupiny zvýšila 168 h po zátěži. Velikost příčného průřezu svalu se u skupiny CWI vrátila na základní hodnotu již 24 h po zátěži, signifikantní rozdíl oproti kontrolní skupině.	U skupiny CWI se hodnota DOMS vrátila na základní hodnotu 168 h po zátěži.
S15	15 min CWI po přerušovaném vyčerpávajícím cvičení snížilo rektální teplotu a zlepšilo běžecký výkon. Čas, kdy došlo k selhání při druhém běhu byl delší po aplikaci CWI 8 a 15 min v porovnání s kontrolní skupinou. Rozdíly mezi CWI 8 a 15 min byly minimální. CWI 8 min však mělo efekt větší.	-	Na začátku druhého běhu byl laktát signifikantně vyšší u skupiny CWI 8 min oproti CWI 15 min a kontrolní skupině. Kontrolní skupina se projevila zvýšeným laktátem v momentě odmítnutí v porovnání se skupinou CWI 15 min.	-

S16	CWI ihned po regeneraci snížilo tělesnou teplotu, srdeční frekvenci, bolestivost svalů a markery svalového poškození, zatímco došlo ke zvýšení maximální volní kontrakce a volní aktivace v porovnání s kontrolní skupinou.	Ihned a 2 h po využití CWI dosahovala maximální volní kontrakce a aktivace vyšších hodnot v porovnání s kontrolní skupinou. Hodnota maximální volní kontrakce byla u skupiny CWI 24 h po regeneraci snižena. Hodnota volní kontrakce se vrátila na základní hodnotu 2 h po regeneraci a maximální volní kontrakce se vrátila na základní hodnotu 24 h po regeneraci.	Po cvičení došlo ke zvýšení hodnot kreatinkinázy a hodnoty zůstaly zvýšené po dobu 24 h. Neobjevil se rozdíl ve vlivu mezi použitými regeneračními metodami.	Bolestivost svalů byla snižena ihned po aplikaci CWI při porovnání s kontrolní skupinou.
S17	Objevila se signifikantní interakce mezi skupinami a hodnotami kreatinkinázy a laktát dehydrogenázy. CWI po 90minutovém fotbalovém tréninku může snížit hodnoty parametrů svalového poškození.	-	U skupiny CWI byly hodnoty kreatinkinázy nižší oproti kontrolní skupině ihned po aplikaci, 24 a 48 h po aplikaci byly rozdíly signifikantní. Stejné schéma se opakovalo i pro laktát dehydrogenázu.	-

Poznámka. CWI = cold water immersion (ponoření do studené vody), CAT = cold air therapy (ochlazení studeným vzduchem), CWIT = cold water immersion therapy (terapie ponořením do studené vody), CK = kreatinkináza, T_{REC} = rektální teplota, PASS = passive rest (pasivní odpočinek), PB = Polar Breeze machine (vzduch o teplotě 22.2 °C), HIIT = high intensity interval training (vysoce intenzivní intervalový trénink), VO_2 = hodnota objemu kyslíku, 1-RM = one repetition max, CMJ = counter movement jump (jedno maximální opakování), MVC = maximal voluntary contraction (maximální volní kontrakce), P_{30s} = maximální veslovací test 30s, HKK = horní končetiny, DKK = dolní končetiny, CRP = C-reaktivní protein, DOMS = delayed onset muscle soreness (opožděný nástup svalové bolesti)

6 DISKUSE

Cílem bakalářské práce bylo popsat, jaké vlivy má pozátěžové ponoření do studené vody na lidský organismus a zhodnotit, jak lze tyto vlivy využít v regeneraci. Ve vybraných studiích byl hodnocen vliv na celkovou regeneraci po výkonu, vliv na svalovou sílu, svalové poškození a bolestivost. Studie měly více výstupů, ale tyto zmíněné se promítaly do největšího počtu studií.

Celkové regeneraci po výkonu se věnovalo 10 ze 17 hodnocených studií. Vliv na regeneraci byl vždy odvozován podle parametrů, na které se daná studie zaměřovala. Parametry se mezi studiemi lišily, ale můžeme najít podobné výsledky. Například Hayter et al. (2016) a Pournot et al. (2011) se zaměřovali na anaerobní výkon a oba potvrdili pozitivní vliv. Můžeme k nim přiřadit i Pointona et al. (2011), který popsal zvýšení maximální volní kontrakce a volní aktivace po ponoření do studené vody. Malta et al. (2021) však tvrdí, že ponoření do studené vody má negativní efekt na rezistentní trénink. Dvě studie se zaměřily na ovlivnění otoku. Kusuma et al. (2021) i Pournot et al. (2011) se shodují na snížení otoku po ponoření do studené vody a na základě toho popisují lepší regeneraci. Největší počet studií (5) hodnotilo vliv na regeneraci podle vlivu na svalové poškození a snížení svalových markerů s tím spojených. Všechny 5 studií se shodlo na pozitivním efektu, kdy došlo k celkovému snížení poškození svalů, množství odpovídajících markerů nebo k jejich rychlejší regeneraci. S výsledky těchto studií nesouhlasí Hohenauer et al. (2015), který během své metaanalýzy nepotvrdil vliv ponoření do studené vody na parametry svalového poškození a jejich regeneraci během 96 hodin.

Na základě výsledků analyzovaných studií by se dalo říct, že ponoření do studené vody má obecně pozitivní vliv na regeneraci po výkonu. Je ale nutné tento vliv hodnotit vždy k parametrům, u kterých chceme regeneraci podpořit, tak jak se jim věnovaly jednotlivé studie. Pozitivní vliv podporují Ascensão, Leite, Rebelo, Magalhães a Magalhães (2011), Peake, Neubauer, Della Gatta a Nosaka (2017), Pedersen a Hoffman-Goetz (2000), kteří popisují zlepšení aktuálního stavu, ale dodávají, že se může objevit horší dlouhodobá adaptace na trénink. Rowell (1974) se k podpoře pozitivního vlivu přidává také. S pozitivním vlivem, který se dá předpokládat na základě výše zmíněných výsledků, nesouhlasí Ihsan et al. (2016), který tvrdí, že snížený průtok krve po ponoření do studené vody způsobuje horší přísun kyslíku a nutrientů a může tak být pro regeneraci negativní.

Svalovou silou a jejím ovlivněním po ponoření do studené vody se věnovalo 9 studií. Šest z nich uvádí zlepšení svalové síly a 3 zbylé hodnotily rychlost návratu silových parametrů na bazální hodnoty. U všech studií se znovu lišily typy testů, a tedy i zkoumaný druh svalové síly. U studií Fakhra et al. (2022), Pournota et al. (2011) a Siqueiry et al. (2018) můžeme najít pozitivní

vliv na výkon během CMJ. Můžeme tedy odvozovat zlepšení dynamické složky svalové síly, která je k provedení tohoto testu důležitá. Dalších pět studií popsalo pozitivní vliv na maximální hodnoty svalové síly, ale také s využitím rozdílných testů.

Je možné vyvozovat určité pozitivní závěry týkající se ovlivnění svalové síly. Je však nutné být opatrnými, protože vycházíme pouze z malého vzorku 5 studií.

Svalové poškození bylo studiem hodnoceno na základě hodnot kreatinkinázy a laktátu. Tomuto tématu se věnovalo 12 studií, kdy 3 z nich neobjevily signifikantní rozdíly. Hohenaur et al. (2015) s tímto výsledkem souhlasí, nezjistil signifikantní rozdíl s ohledem na laktát, CK ani CRP. Jediný rozdíl, i když signifikantní, se objevil po 48 hodinách u CRP. Ostatní studie ve svých výsledcích popsaly vyšší i nižší hodnoty kreatinkinázy a laktátu. Ani jedna z těchto skupin však nedominuje vysokým počtem studií, které by se shodovaly. Nejvíce studií (4) se shoduje na nižších hodnotách laktátu, rozdílem je však čas, kdy k tomuto snížení došlo. Oproti tomu dvě studie popisují zvýšení laktátu, zde však můžeme najít i shodu v čase. U obou se vyšší hodnoty prokázaly na začátku druhé série cvičení. U studií zabývajících se kreatinkinázou najdeme tři studie shodující se na vyšších hodnotách, znovu se tyto hodnoty liší časem. Pouze jedna studie popsala snížení kreatinkinázy. Metaanalýzy Hohenauera et al. (2015) a Holmes a Willoughbyho (2016) nepovažují ponoření do studené vody jako efektivní způsob ke snížení CK a laktátu. Holmes a Willoughby (2016) sice určité změny v hodnotách CK objevili, ale byly minimální.

Vliv ponoření do studené vody na svalové poškození je oblastí s nejméně jasným výsledkem. Můžeme zde najít určitý efekt na snížení laktátu. Všechny tyto studie využily aerobní až aerobně/anaerobní aktivity, což mohlo hrát roli. Na druhou stranu se objevovaly vyšší hodnoty kreatinkinázy. Dá se tedy předpokládat, že ponoření do studené vody nebude ideální modalitou k prevenci poškození svalů.

Bolestivost svalů hodnotilo 10 ze 17 studií, z toho 3 nenašly rozdíl mezi skupinami. V této oblasti můžeme najít menší převahu studií (5), které se shodují na snížení bolestivosti po ponoření do studené vody. Pouze dvě popisují zvýšení bolestivosti a liší se i časovým obdobím, kdy k tomu došlo. Studie Takedy et al. (2014) a Pointona et al. (2011) se shodují na snížení ihned po ponoření. S tímto výsledkem souhlasí i metaanalýza Wanga et al. (2021), který také popsal snížení ihned po ponoření s trváním 24 hodin. S tvrzením Fonseca et al. (2016), který popsal snížení až po 24 hodinách, se shodují tři metaanalýzy. Wang et al. (2021), Hohenauer et al. (2015) i Holmes a Willoughby (2016) zjistili snížení bolestivosti po 24 hodinách. Podle Wanga et al. (2021) i Hohenauera et al. (2015) bylo snížení v tomto čase statisticky významné. Hohenauer et al. (2015) dále popisuje signifikantní snížení až do 96 hodin od aplikace. V tomto časovém období můžeme najít rozpor s Holmesem a Willoughbym (2016). Ti tvrdí, že ke snížení došlo i po 72 hodinách, toto snížení se však u Hohenauera et al. (2015) neobjevilo.

Pozátěžová bolestivost svalů je nejčastěji vnímaným příznakem a často je k jejímu zmírnění využíváno ponoření do studené vody. Ve výsledcích je vidět převaha studií podporujících pozitivní vliv, ale je nutné brát výsledky s rezervou, protože se jedná pouze o polovinu studií zabývajících se tímto tématem a celkově vycházíme z malého počtu studií. Wang et al. (2021), i Hohenaur et al. (2015) na základě vlastních výsledků souhlasí s pozitivním vlivem ponoření do studené vody na bolestivost. Wang et al. (2021) dále dodává, že nejlepší efekt se objevuje při aplikaci do jedné hodiny od cvičení a s rostoucí dobou účinek ponoření klesá. I Hohenaur et al. (2015) doporučuje provedení většího počtu studií, které by tento vliv potvrdily.

Co se týče teploty vody a času ponoření, pohybovaly se tyto parametry v rozmezí od 1,45 °C do 15 °C a od 5 min do 20 min. Nejčastěji použitá teplota vody byla 10 °C a nejčastější délka ponoření 15 min. Podobné hodnoty můžeme najít i v dalších studiích. S teplotou vody 10 °C souhlasí Hohenauer et al. (2015), který ji považuje za ideální, i Versey et al. (2013), který určil rozmezí teplot začínající na 10°C a končící na 15°C. Jako maximální teplotu doporučuje Machado et al. (2016) i Versey et al. (2013) 15 °C což byla i maximální teplota využita v této práci. Ideální délka trvání se ve zkoumaných metaanalýzách pohybuje od 5 min do 15 min. 5 min byla nejkratší doba, kterou popal ve své metaanalýze i Versey et al. (2013) a byla i nejkratší dobou v této práci. 15 min doporučuje Machado et al. (2016) i Versey et al. (2013) jako maximální dobu ponoření a byla to i nejčastěji použitá doba v této práci. Yeargin et al. (2006), Vaile, Halson a Dawson (2008) dodávají, že kratší časy ponoření sportovci využívali poctivě, ale nepřispívají k tréninkovým vlivům.

Vlivu ponoření do studené vody na aerobní nebo anaerobní aktivity se studie hodnocené v této práci nevěnovaly. Větší počet studií (12) využilo aktivit s anaerobním charakterem pouze pět aktivit aerobních. Tento vliv však můžeme hodnotit na základě dalších studií a metaanalýz. Malta et al. (2021) ve své metaanalýze popisuje negativní efekt ponoření do studené vody na rezistentní trénink, silové parametry nebo parametry silové vytrvalosti. Mawhinney et al. (2017), Fujita, Rasmussen, Cadenas, Grady a Volpi (2006), Tipton a Wolfe (2001) tuto redukci svalové síly vysvětlují na základě vazokonstrikce a redukce krevního průtoku, což je spojeno s redukcí proteosyntézy ve svalech, která je důležitá pro hypertrofii svalů a zisk síly. Malta et al. (2021) ve své metaanalýze také popsal nulový vliv na výkon v aerobních aktivitách. Foster, Costill, Daniels a Fink (1978) to vysvětlují na základě minimálního efektu periferních změn ve svalech v porovnání se změnami centrálními. Použití ponoření do studené vody však podporují Quod, Martin a Laursen (2006) a Ranalli et al. (2010) u dlouhotrvajících cvičení a u cvičení v horku. I přes negativní vlivy Versey et al. (2013) po ponoření do studené vody popisuje lepší výkon v cyklistice, běhu, lezení, vertikálním výskoku a silových testech dolních končetin.

7 ZÁVĚRY

- Ponoření do studené vody má pozitivní vliv na krátkodobou regeneraci po výkonu, ale může omezovat dlouhodobou adaptaci na trénink.
- Podle výsledků studií podporuje ponoření do studené vody zlepšení svalové síly.
- Ponoření do studené vody není ideální jako prostředek zbavení se metabolitů ze svalů (CK, laktát).
- Ponoření do studené vody je vhodné k minimalizaci bolestivosti svalů při využití v co nejkratším čase po výkonu se signifikantním účinkem 24 hodin po aplikaci.
- Ideální teplota se pohybuje mezi 5–15 °C a délka trvání mezi 5–15 minutami.
- Na základě výsledků můžeme konstatovat negativní vliv na výkon v anaerobních a silových aktivitách a nulový efekt na výkon u aerobních aktivit.

8 SOUHRN

Ponoření do studené vody patří mezi nejčastěji využívanou regenerační metodu jak mezi sportovci, tak mezi běžnou populací. Je využívána ihned po samotném výkonu s nejčastějším cílem co nejvíce zmírnit bolestivost svalů po podaném výkonu.

Cílem této práce bylo vytvořit systematický přehled randomizovaných kontrolovaných studií zkoumajících fyziologické reakce organismu na pozátěžové ponoření do studené vody a dále hodnotit vliv na celkovou regeneraci, svalovou sílu, poškození a bolestivost svalů.

K vyhledávání studií byla použita elektronická databáze ProQuest. Vyhledávány byly randomizované kontrolované studie týkající se tématu. Po dalších specifikacích a hodnocení dle názvu, abstraktu a textu k finální analýze zbylo 17 studií.

Tyto studie byly hodnoceny s ohledem na vliv ponoření do studené vody na celkovou regeneraci, svalovou sílu, poškození a bolestivost svalů. Celkovou regeneraci hodnotilo 10 studií. Z jejich výsledků vyplývá, že ponoření do studené vody ihned po výkonu má pozitivní vliv na krátkodobou regeneraci, ale může mít negativní vliv na dlouhodobou tréninkovou adaptaci. Vlivem na svalovou sílu se zabývalo 9 studií, 6 z nich popsalo pozitivní vliv na zlepšení svalové síly. Jednalo se o dynamickou a maximální svalovou sílu. Vliv na poškození svalů zkoumalo 12 studií, tuto skutečnost hodnotily na základě množství CK a laktátu. Výsledky těchto studií nebyly přesvědčivé ani u jedné z hodnot. Můžeme tedy vyvodit fakt, že ponoření do studené vody nebude ideální metodou ke snížení svalového poškození, případně snížení množství CK a laktátu. 10 ze 17 studií se věnovalo svalové bolestivosti. Což je nejčastější důvod, proč je ponoření do studené vody využito. Z výsledků analyzovaných studií a metaanalýz zabývajících se tímto tématem vyplývá pozitivní vliv na svalovou bolestivost, především při využití do jedné hodiny po výkonu. Ideálními parametry, které se doporučují využít jsou 5-15 °C a 5-15 minut. Při hodnocení vlivu na anaerobní a aerobní aktivity byl zjištěn negativní vliv na anaerobní aktivity a nulový vliv na aktivity aerobní.

Ponoření do studené vody po výkonu je tedy dobrou volbou, pokud ji využijeme ihned nebo v co nejkratší době po výkonu s cílem podpořit krátkodobou regeneraci a zmírnit bolestivost svalů. Ideálními parametry je 5-15 °C a 5-15 min.

9 SUMMARY

Cold water immersion is one of the most frequently used regeneration methods both among athletes and the general population. It is used immediately after the performance, with the most common goal of alleviating post-exercise muscle soreness.

The aim of this bachelor thesis was to create a systematic overview of randomized controlled studies investigating physiological impact of post-exercise cold water immersion and to further evaluate the effect on overall regeneration, muscle strength, muscle damage and soreness.

The ProQuest electronic database was used to search for studies. Randomized controlled trials related to the topic were searched. After further specifications and evaluation according to title, abstract and text, 17 studies remained for the final analysis.

These studies were evaluated for the effect of cold water immersion on overall recovery, muscle strength, muscle damage and soreness. Total regeneration was evaluated by 10 studies. Their results show that immersion in cold water immediately after exercise has a positive effect on short-term regeneration but may have a negative effect on long-term training adaptation. 9 studies looked at the effect on muscle strength, 6 of them described a positive effect on improving muscle strength. It was dynamic and maximal muscle strength. 12 studies investigated the effect on muscle damage, evaluating this fact based on the amount of CK and lactate. The results of these studies were inconclusive for either value. We can therefore conclude that immersion in cold water isn't an ideal method for reducing muscle damage or reducing the amount of CK and lactate. 10 of the 17 studies looked at muscle soreness. Which is the most common reason why cold water immersion is used. The results of the analyzed studies and meta-analyses dealing with this topic show a positive effect on muscle soreness, especially when used within one hour after the exercise. The ideal parameters that are recommended to be used are 5-15 °C and 5-15 minutes. When evaluating the effect on anaerobic and aerobic activities, a negative effect on anaerobic activities and a zero effect on aerobic activities were found.

Post-exercise cold water immersion is a good choice if we use it immediately or as soon as possible after exercise in order to promote short-term regeneration and relieve muscle soreness. The ideal parameters are 5-15 °C and 5-15 min.

10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Adams, W. E., Butke, E. E., Lee, J., & Zaplatosch, M. E. (2021). Cooling capacity of transpulmonary cooling and cold-water immersion after exercise-induced hyperthermia. *Journal of Athletic Training, 56*(4), 383-388. doi: 10.4085/1062-6050-0146.20
- Almeida, A. C., Machado, A. F., Albuquerque, M. C., Netto, L. M., Vanderlei, F. M., Vanderlei, L. C. M., ... Pastre, C. M. (2015). The effects of cold water immersion with different dosages (duration and temperature variations) on heart rate variability post-exercise recovery: A randomized controlled trial. *Journal of Science and Medicine in Sport, 19*(8), 676-681. doi: 10.1016/j.jsams.2015.10.003
- Ascensão, A., Leite, M., Rebelo, A. N., Magalhães, S., & Magalhães, J. (2011). Effects of cold water immersion on the recovery of physical performance and muscle damage following a one-off soccer match. *Journal of Sports Sciences, 29*(3), 217-225. doi: 10.1080/02640414.2010.526132
- Banfi, G., Lombardi, G., Colombini, A., & Melegati, G. (2010). Whole-body cryotherapy in athletes. *Sports Medicine, 40*(6), 509-517. doi: 10.2165/11531940-000000000-00000
- Bieuzen, F., Bleakley, C. M., & Costello, J. T. (2013). Contrast water therapy and exercise induced muscle damage: a systematic review and meta-analysis. *PloS One, 8*(4). doi: 10.1371/journal.pone.0062356
- Bleakley, C. M., Bieuzen, F., Davison, G. W., & Costello, J. T. (2014). Whole-body cryotherapy: empirical evidence and theoretical perspectives. *Open Access Journal of Sports Medicine, 5*, 25-36. doi: 10.2147/OAJSM.S41655
- Bleakley, C., McDonough, S., Gardner, E., Baxter, G. D., Hopkins, J. T., & Davison, G. W. (2012). Cold-water immersion (cryotherapy) for preventing and treating muscle soreness after exercise. *The Cochrane database of systematic review, 2012*(2). doi: 10.1002/14651858.CD008262.pub2
- Broatch, J. R., Petersen, A., & Bishop, D. J. (2017). Cold-water immersion following sprints interval training does not alter endurance signaling pathways or training adaptations in human skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 313*(4), 372-384. doi: 10.1152/ajpregu.00434.2016
- Cheung, K., Hume, P., & Maxwell, L. (2003). Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors. *Sports Medicine, 33*(2), 145-164. doi: 10.2165/00007256-200333020-00005

- Costello, J. T., Algar, L. A., & Donnelly, A. E. (2012). Effects of whole-body cryotherapy (-110°C) on proprioception and indices of muscle damage. *Scandinavian journal of Medicine & Science in Sports*, 22(2), 190-198. doi: 10.1111/j.1600-0838.2011.01292.x
- Costello, J. T., Baker, P. R., Minett, G. M., Bieuzen, F., Stewart, I. B., & Bleakley, C. (2016). Cochrane review: Whole-body cryotherapy (extreme cold air exposure) for preventing and treating muscle soreness after exercise in adults. *Journal of Evidence-Based Medicine*, 9(1), 43-44. doi: 10.1111/jebm.12187
- Dunne, A., Crampton, D., & Egaña, M. (2013). Effect of post-exercise hydrotherapy water temperature on subsequent exhaustive running performance in normothermic conditions. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(5), 466-471. doi: 10.1016/j.jsams.2012.11.884
- Fakhro, M. A., AlAmeen, F., & Fayad, R. (2022). Comparison of total cold-water immersion's effects to ice massage on recovery from exercise-induced muscle damage. *Journal of Experimental Orthopaedics*, 9(1). doi: 10.1186/s40634-022-00497-5
- Fonseca, L. B., Brito, C. J., Silva, R. J. S., Silva-Grigoletto, M. E., da Silva Junior, W. M., & Franchini, E. (2016). Use of cold-water immersion to reduce muscle damage and delayed-onset muscle soreness and preserve muscle power in jiu-jitsu athletes. *Journal of Athletic Training*, 51(7), 540-549. doi: 10.4085/1062-6050-51.9.01
- Foster, C., Costill, D. L., Daniels, J. T., & Fink, W. J. (1978). Skeletal muscle enzyme activity, fiber composition and VO₂ max in relation to distance running performance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 39(2), 73-80. doi: 10.1007/BF00421711
- Fröhlich, M., Faude, O., Klein, M., Pieter, A., Emrich, E., & Meyer, T. (2014). Strength training adaptations after cold-water immersion. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(9), 2628-2633. doi: 10.1519/JSC.0000000000000434
- Fujita, S., Rasmussen, B. R., Cadenas, J. G., Grady, J. j., & Volpi, E. (2006). Effect of insulin on human skeletal muscle protein synthesis is modulated by insulin-induced changes in muscle blood flow and amino acid availability. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 291(4), 745-754. doi: 10.1152/ajpendo.00271.2005
- Getto, C. N., & Golden, G. (2013). Comparison of active recovery in water and cold-water immersion after exhaustive exercise. *Athletic Training & Sports Health Care*, 5(4), 169-176. doi: 10.3928/19425864-20130702-03
- Glasgow, P. D., Ferris, R., & Bleakley, C. M. (2014). Cold water immersion in the management of delayed-onset muscle soreness: Is dose important? A randomised controlled trial. *Physical Therapy in Sport*, 15(4), 228-233. doi: 10.1016/j.ptsp.2014.01.002

- Hayter, K. J., Doma, K., Schumann, M., & Deakin, G. B. (2016). The comparison of cold-water immersion and cold air therapy on maximal cycling performance and recovery markers following strength exercises. *PeerJ*, 4. doi: 10.7717/peerj.1841
- Hohenauer, E., Taeymans, J., Baeyens, J. P., Clarys, P., & Clijsen, R. (2015). The effect of post-exercise cryotherapy on recovery characteristics: A systematic review and meta-analysis. *Plos One*, 10(9). doi: 10.1371/journal.pone.0139028
- Holmes, M., & Willoughby, D. S. (2016). The effectiveness of whole body cryotherapy compared to cold water immersion: Implications for sport and exercise recovery. *International Journal of Kinesiology & Sports Science*, 4(4). doi: 10.7575/aiac.ijkss.v.4n.4p.32
- Ihsan, M., Watson, G., & Abbiss, C. R. (2016). What are the physiological mechanism for post-exercise cold water immersion in the recovery from prolonged endurance and intermittent exercise?. *Sports Medicine*, 46, 1095-1109. doi: 10.1007/s40279-016-0483-3
- Kittnar, O., Hrachovina, V., Langmeier, M., Marešová, D., Pokorný, J., & Trojan, S. (2000). *Fyziologické regulace ve schématech*. Praha: Grada.
- Kittnar, O., Jandová, K., Kuriščík, E., Langmeier, M., Marešová, D., Mlček, M., ... Trojan, S. (2020). *Lékařská fyziologie* 2nd ed. Praha: Grada.
- Kittnar, O., Jandová, K., Kuriščík, E., Langmeier, M., Marešová, D., Mlček, M., ... Trojan, S. (2021). *Přehled lékařské fyziologie*. Praha: Grada.
- Kittnar, O., Jandová, K., Langmeier, M., Kuriščík, E., Mlčková, P., Nedbalová, M., ... Wittner, M. (2016). *Atlas fyziologie člověka*. Praha: Grada.
- Kučera, M., Dylevský, I., Dohnal, K., Goetz, P., Kálal, J., Máček, M., ... Zeman, V., (1999). *Sportovní medicína*. Praha: Grada.
- Kusuma, M. N. H., Komarudin, Topo, S., Arfin, D. L., Djoko, N., & Baskoro, N. P. (2021). Effect of cold water and contrast immersion on physiological and psychological responses of elite athletes after high-intensity exercises. *Journal of Physical Education and Sport*, 21(6), 3278-3287. doi: 10.7752/jpes.2021.s6446
- Leal Junior, E. C., de Godoi, V., Manalossi, J. L., Rossi, R. P., De Marchi, T., Parente, M., ... Lopes-Martins, R. Á. B. (2011). Comparison between cold water immersion therapy (CWIT) and light emitting diode therapy (LEDT) in short-term skeletal muscle recovery after high-intensity exercise in athletes-preliminary results. *Lasers in Medical Science*, 26(4), 493-501. doi: 10.1007/s10103-010-0866-x
- Leeder, J., Gissane, C., van Someren, K., Gregson, W., & Howatson, G. (2012). Cold water immersion and recovery from strenuous exercise: a meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 46(4), 233-240. doi: 10.1136/bjsports-2011-090061

- Machado, A. F., Ferreira, P. H., Micheletti, J. K., de Almeida, A. C., Lemes, Í. R., Vanderlei, F. M. ... Pastre, C. M. (2016). Can water temperature and immersion time influence the effect of cold water immersion on muscle soreness? A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 46(4), 503-514. doi: 10.1007/s40279-015-0431-7
- Malta, E. S., Dutra, Y. M., Broatch, J. R., Bishop, D. J., & Zagatto, A. M. (2021). The effects of regular cold-water immersion use on training-induced changes in strength and endurance performance: A systematic review with meta-analysis. *Sports Medicine*, 51, 161-174. doi: 10.1007/s40279-020-01362-0
- Mawhinney, C., Jones, H., Low, D. A., Green, D. J., Howatson, G., & Gregson, W. (2017). Influence of cold-water immersion on limb blood flow after resistance exercise. *European Journal of Sport Science*, 17(5), 519-529. doi: 10.1080/17461391.2017.1279222
- Navrátil, L. (Ed.) (2019). *Fyzikální léčebné metody pro praxi*. Praha: Grada.
- Peake, J. M., Neubauer, O., Della Gatta, P. A., & Nosaka, K. (2017). Muscle damage and inflammation during recovery from exercise. *Journal of Applied Physiology*, 122(3), 559-570. doi: 10.1152/jappphysiol.00971.2016
- Pedersen, B. K., & Hoffman-Goetz, L. (2000). Exercise and the immune system: regulation, integration, and adaptation. *Physiological Reviews*, 80(3), 1055-1081. doi: 10.1152/physrev.2000.80.3.1055
- Peiffer, J. J., Abbiss, C. R., Watson, G., Nosaka, K., & Laursen, P. B. (2009). Effect of cold-water immersion duration on body temperature and muscle function. *Journal of Sports Sciences*, 27(10), 987-993. doi: 10.1080/02640410903207424
- Poděbradský, J., & Poděbradská, R. (2009.) *Fyzikální terapie: manuál a algoritmy*. Praha: Grada.
- Poděbradský, J., & Vařeka, I. (1998). *Fyzikální terapie I*. Praha: Grada.
- Poděbradský, J., & Vařeka, I. (1998). *Fyzikální terapie II*. Praha: Grada.
- Pointon, M., Duffield, R., Cannon, J., & Marino, F. E. (2011). Cold application for neuromuscular recovery following intense lower-body exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 111(12), 2977-2986. doi: 10.1007/s00421-011-1924-1
- Pointon, M., Duffield, R., Cannon, J., & Marino, F. E. (2012). Cold water immersion recovery following intermittent-sprint exercise in the heat. *European Journal of Applied Physiology*, 112(7), 2483-2494. doi: 10.1007/s00421-011-2218-3
- Pournot, H., Bieuzen, F., Duffield, R., Lepretre, P., Cozzolino, C., & Hausswirth, C. (2011). Short term effects of various water immersions on recovery from exhaustive intermittent exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 111(7), 1287-1295. doi: 10.1007/s00421-010-1754-6

- Quod, M. J., Martin, D. T., & Laursen, P. B. (2006). Cooling athletes before competition in the heat: comparison of techniques and practical considerations. *Sports Medicine*, *36*(8), 671-682. doi: 10.2165/00007256-200636080-00004
- Ranalli, G. F., Demartini, J. K., Casa, D. J., McDermott, B. P., Armstrong, L. E., & Maresh, C. M. (2010). Effect of body cooling on subsequent aerobic and anaerobic performance: a systematic review, *Journal of Strength and Conditioning Research*, *24*(12), 3488-3496. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182fb3e15
- Rokyta, R., Bernášková, K., Franěk, M., Kříž, N., Paul, T., Pekárková, I., ... Yamamotová, A. (2008). *Fyziologie pro bakalářská studia v medicíně, ošetřovatelství, přírodovědných, pedagogických a tělovýchovných oborech* 2nd ed. Praha: ISV.
- Roonkiani, S. K., Ebrahimi, M., & Majelan, A. S. (2020). Effect of cold water immersion on muscle damage indexes after simulated soccer training in young soccer players. *Biomedical Human Kinetics*, *12*(1), 236-241. doi: 10.2478/bhk-2020-0030
- Rowell, L. B. (1974). Human cardiovascular adjustment to exercise and thermal stress. *Physiological Reviews*, *54*(1), 75-159. doi: 10.1152/physrev.1974.54.1.75
- Sanchez-Ureña, B., Nakamura, F. Y., Gutiérrez-Vargas, R., Gutiérrez-Vargas, J. C., & Rojas-Valverde, D. (2021). Intermittent or continuous cold water immersion recovery protocols do not affect skin temperature. *Journal of Physical Education and Sport*, *21*(3), 2251-2257. doi: 10.7752/jpes.2021.s3286
- Siqueira, A. F., Vieira, A., Bottaro, M., Ferreira-Júnior, J. B., de Toledo Nóbrega, O., de Souza, V. C., ... Durigan, J. L. Q. (2018). Multiple cold-water immersions attenuate muscle damage but not alter systemic inflammation and muscle function recovery: A parallel randomized controlled trial. *Scientific Reports*, *8*. doi: 10.1038/s41598-018-28942-5
- Stanley, J., Peake, J. M., Coombes, J. S., & Buchheit, M. (2014). Central and peripheral adjustments during high-intensity exercise following cold water immersion. *European Journal of Applied Physiology*, *114*(1), 147-163. doi: 10.1007/s00421-013-2755-z
- Takeda, M., Sato, T., Hasegawa, T., Shintaku, H., Kato, H., Yamaguchi, Y., & Radak, Z. (2014). The effects of cold water immersion after rugby training on muscle power and biochemical markers. *Journal of Sports Science and Medicine*, *13*(3), 616-623. Retrieved from <https://www.proquest.com/docview/2295531759/3235060A032A44B1PQ/1?accountid=16730>
- Tipton, K. D., & Wolfe, R. R. (2001). Exercise, protein metabolism, and muscle growth. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, *11*(1), 109-132. doi: 10.1123/ijsnem.11.1.109

- Vaile, J., Halson, S., & Dawson, B. (2008). Effect of hydrotherapy on recovery from fatigue. *International Journal of Sports Medicine*, 29(7), 539-544. doi: 10.1055/s-2007-989267
- Versey, N. G., Halson, S. L. & Dawson, B. T. (2013). Water immersion recovery for athletes: Effect on exercise performance and practical recommendations. *Sports Medicine*, 43, 1101-1130. doi: 10.1007/s40279-013-0063-8
- Wakabayashi, H., Kaneda, K., Sato, D., Tojihara, Y., & Nomura, T. (2008). Effect of non-uniform skin temperature on thermoregulatory response during water immersion. *European Journal of Applied Physiology*, 104(2), 175-181. doi: 10.1007/s00421-008-0714-x
- Wang, Y., Li, S., Zhang, Y., Chen, Y., Yan, F., Han, L., & Ma, Y. (2021). Heat and cold therapy reduce pain in patients with delayed onset muscle soreness: A systematic review and meta-analysis of 32 randomized controlled trials. *Physical Therapy in Sport*, 48, 177-187. doi: 10.1016/j.ptsp.2021.01.004
- White, G. E., & Wells, G. D. (2013). Cold-water immersion and other forms of cryotherapy: physiological changes potentially affecting recovery from high-intensity exercise. *Extreme Physiology & Medicine*, 2(1). doi: 10.1186/2046-7648-2-26
- Wilcock, I. M., Cronin, J. B., & Hing, W. A. (2006). Water immersion: does it enhance recovery from exercise?. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1(3), 195-206. doi: 10.1123/ijsp.1.3.195
- Yeargin, S. W., Casa, D. J., McClung, J. M., Knight, J. C., Healey, J. C., Goss, P. J., ... Hipp, G. R. (2006). Body cooling between two bouts of exercise in the heat enhances subsequent performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(2), 383-389. doi: 10.1519/R-18075.1
- Zeman, V. (2006.) *Adaptace na chlad u člověka: Možnosti a hranice*. Praha: Galén.
- Zhao, C. Y., Ma, X., Liu, J. J., Ye, D., Guo, C., Wang, S. H., & Geng Y. D. (2017). Comparison of different cold therapy programs on delayed-onset muscle soreness. *Chinese Journal of Tissue Engineering Research*, 21(24), 3827-3832. doi: 10.3069/j.issn.2095-4344.2017.24.010