

UNIVERZITA KARLOVA  
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU  
Katedra fyzioterapie

**Vliv intermitentní kompresní terapie na svalovou únavu  
fotbalistů**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:

**PhDr. Helena Vomáčková, Ph.D.**

Vypracovala:

**Bc. Michaela Farová**

Praha, 2024

## **Abstrakt**

**Název:** Vliv intermitentní kompresní terapie na svalovou únavu fotbalistů

**Cíle:** Cílem bylo zjistit, jestli a jaký vliv má kompresní intermitentní a kryo-kompresní intermitentní terapie na parametry svalové únavy u fotbalistů. Druhým cílem bylo ozřejmit, zdali je možné označit jednu z intervencí za efektivnější pro snížení svalové únavy.

**Metody:** Tato pilotní studie sloužila k objasnění, jestli má kompresní intermitentní terapie vliv na parametry svalové únavy a zdali je možné označit jednu z intervencí za vlivnější na parametry svalové únavy. Sběr dat proběhl na výzkumném souboru 21 hráčů fotbalu ve věkovém rozmezí 18 až 22 let s průměrným věkem  $19,8 \pm 1,33$  let, výškou  $176,1 \pm 3,6$  cm, váhou  $72,8 \pm 4$  kg, BMI  $23,5 \pm 1,3$  kg/m<sup>2</sup>. Deset probandů bylo z týmu U19, sedm z týmu muži B a 4 hráčů z týmu muži A. Celkem byli probandi rozděleni do tří skupin, kontrolní, kompresní a kryo-kompresní ( $n=7,7,7$ ). Sledovaným proměnným parametrem byla výška Counter Movement Jumpu (CMJ) v různých časových úsecích této pilotní studie. Data byla měřena pomocí OptoJumpu Next. Na základě rozdílů v průměrné výšce CMJ jednotlivých probandů byla hodnocena svalová únava v horizontu 24 hodin od intervence a ihned po intervenci. Pro statistickou analýzu bylo zvoleno sedm hypotéz, u kterých byl po statistickém testování určen efekt na svalovou únavu jednotlivých terapií. Také byly porovnány rozdíly průměrných hodnot CMJ daných intervencí mezi sebou. Pro otestování jednotlivých hypotéz byl využit parametrický párový T-test a T-test dvou nezávislých výběrů, neparametrický Mann-Whitney test a párový Wilcoxon testu. Zvolená hladina statistické významnosti byla jednotná  $\alpha=0,05$ . Pro zjištění klinické významnosti byl použit test Cohenovo d.

**Výsledky:** Zařazení kompresní a kryo-kompresní terapie do mikrocyklické periodizace MD+1 hráčů fotbalu ( $n=21$ ,  $19,8 \pm 1,33$  let) nemělo statisticky významný vliv na snížení svalové únavy hodnocené porovnáním průměrných hodnot CMJ jednotlivých probandů. V rámci pilotní studie nebyl zaznamenán statisticky významný výsledek šesti ze sedmi stanovených hypotéz na hladině významnosti  $\alpha=0,05$ . Statisticky nevýznamných změn CMJ po 24 hodinovém odstupu zaznamenala kontrolní skupina (p-hodnota 0,498), kompresní (p-hodnota 0,158) ani kryo-kompresní skupina (p-hodnota 0,188). Po vzájemném otestování a porovnání rozdílů průměrných hodnot CMJ po 24 hodinovém odstupu od intervence zaznamenala kompresní vůči kontrolní

skupině statisticky nevýznamných změn (p-hodnota 0,093). Po porovnání průměrných hodnot CMJ kryo-kompresní vůči kontrolní skupině také nepřineslo statisticky významné změny (p-hodnota 0,550). Ovšem při porovnání kompresní vůči kryo-kompresní skupině se po T-testu dvou nezávislých výběrů ukázala změna rozdílů průměrných hodnot CMJ jako statisticky významná (p-hodnota 0,031). Také byl testován okamžitý efekt intervenčních terapií porovnáním průměrných rozdílů před a po aplikaci terapií. Změna se ukázala statisticky nevýznamnou změnu (p-hodnota 0,456).

**Závěr:** Po vyhodnocení výsledků v rámci této diplomové práce je zřejmé, že nedošlo k potvrzení hypotéz, definujících snížení svalové únavy po aplikaci kompresní ani kryo-kompresní intermitentní terapie. Statisticky významně lepších výsledků změn průměrných hodnot CMJ dosáhli probandi s kompresní intervencí oproti kombinované kryo-kompresní intermitentní terapii. Pro nízký počet probandů nelze brát tyto statistické výsledky jako dostatečně silnou evidenci pro argumentaci. Hypotézy byly také otestovány testem Cohenovo d pro zjištění klinické významnosti a přenositelnosti výsledků do praxe. Tyto výsledky ukázaly pouze u poslední hypotézy nedostatečný efekt pro praxi (-0,164) na sledovanou proměnnou CMJ po porovnání okamžitého účinku kryo-kompresní terapie oproti kompresní terapii. Interpretace zbylých hypotéz vyšla ve prospěch relevantního efektu terapie na svalovou únavu, a to s Point Estimate (0,237; 0,609; -0,695; 0,329; -0,977; 1,306) v pořadí od první po šestou hypotézu, ovšem s různou mírou jistoty. Negativní vliv u intervenční skupiny kryo-kompresní byl zaznamenán u třetí a paté hypotézy (záporné hodnoty). Na základě těchto poznatků je logické preferovat použití kompresní terapie oproti kryo-kompresní terapii, a to kvůli vlivu na hodnoty výšky výskoku CMJ [cm].

**Klíčová slova:** svalová únava, intermitentní pneumatická komprese, CMJ, Game Ready, Normatec 3.0, kryoterapie

## **Abstract**

**Title:** Effect of intermittent compression on muscle fatigue in football players

**Objectives:** The first aim was to determine if and what effect of compression intermittent and cryo-compression intermittent therapy has on muscle fatigue parameters in soccer players. The second aim was to elucidate whether one of the interventions could be described as more effective for player's recovery (reduction of muscle fatigue).

**Methods:** This pilot study was designed to clarify whether compression intermittently affects muscle fatigue parameters and to compare the effect of each intervention with each other. Data collection was conducted on a research cohort of 21 soccer players ranging in age from 18 to 22 years with a mean age of  $19.8 \pm 1.33$  years, height  $176.1 \pm 3.6$  cm, weight  $72.8 \pm 4$  kg, and BMI  $23.5 \pm 1.3$  kg/m<sup>2</sup>. Ten probands were from the U19 team, seven from the men's B team and four players from the men's A team. In total, the probands were divided into three groups, control, compression and cryo-compression (n=7,7,7). The monitored variable was the height of the Counter Movement Jump at different time points in this pilot study. Data were measured using OptoJump Next. Muscle fatigue at 24 hours after the intervention was assessed based on the differences in CMJ height of each proband, and the immediate effect of the intervention protocols on neuromuscular status was also assessed, again using differences in CMJ height. Seven hypotheses were selected for statistical analysis, which after statistical testing determined the effect on muscle fatigue of each therapy and also compared the results of the interventions with each other. Parametric two-sample T-tests, non-parametric Mann-Whitney test and paired Wilcoxon test were used. The chosen level of statistical significance was a uniform  $\alpha=0.05$ . Cohen's d test was used to determine clinical significance.

**Results:** The inclusion of compression and cryo-compression therapy in the micro-cycle periodization of MD+1 soccer players (n=21,  $19.8 \pm 1.33$  years) had no statistically significant effect on promoting recovery, in other words, the intervention had no effect on reducing muscle fatigue as assessed by comparing the CMJ values of individual probands within groups. There was no statistical significance for six of the seven hypotheses stated at the  $\alpha=0.05$  level of significance. The control group (p-value 0.498), the compression group (p-value 0.158) and the cryo-compression group (p-value 0.188) did not experience statistically significant changes in CMJ after the 30-minute intervention. After testing each other and comparing the differences in mean CMJ values

24 hours after the intervention, the compression versus control group experienced statistically insignificant changes (p-value 0.093). After comparing the mean CMJ values, the cryo-compression versus control group also did not show statistically significant changes (p-value 0.550). However, when comparing the compression versus control group, after a T-test of two independent samples, the change in the differences in mean CMJ values proved statistically significant (p-value 0.031). Also, the immediate effect of the intervention therapies was tested by comparing the mean differences before and after the application of the therapies. The change was found to be a statistically insignificant change (p-value 0.456).

**Conclusion:** After evaluating the results within this thesis, it is clear that there was no confirmation of the hypothesis of reduced muscle fatigue after the application of compression or cryo-compression intermittent therapy. Statistically significantly better results of change in CMJ parameters were achieved by probands with compression intervention compared to combined cryo-compression intermittent therapy. The low number of probands cannot be taken as strong enough evidence for the statistical argument. The hypotheses were also tested with Cohen's d test to determine the clinical significance and transferability of the results to practice. These results showed only for the last hypothesis a small even negative treatment effect (Point Estimate -0.164) on the variable of interest. Interpretation of the remaining hypotheses came out in favor of the effect of therapy with Point Estimate in order from 1st to 7th hypothesis (0,237; 0,609; - 0,695; 0,329; -0,977; 0,329; 1,306) with high degree of uncertainty expressed by negative values, and on the contrary with low degree of uncertainty are positive values). Thus, it is clear that the effect of intermittent compression therapy on CMJ jump height values [cm] is significant in practice.

**Keywords:** neuromuscular fatigue, IPC, CMJ, Game Ready, Normatec 3.0

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně. Veškeré použité zdroje a literatura jsou uvedeny v seznamu literatury. Tato práce ani její část nebyla použita pro získání jiného akademického titulu

Prohlašuji, že při psaní závěrečné práce byla využita umělá inteligence pro zlepšení čitelnosti formulací textu kapitol číslo 5.2.1 až 5.2.7.

V Praze, dne: .....

podpis: .....

## Poděkování

Děkuji především PhDr. Heleně Vomáčkové Ph.D. za pomoc, rady a čas, který mi v průběhu vedení diplomové práce věnovala. Mé poděkování také patří klubu SK Aritma Praha a trenérům, kteří mi pomohli s realizací výzkumu a probandům za ochotu při sběru dat.

# Obsah

1 Úvod .....	12
2 Teoretická část .....	13
2.1 Fyziologie kosterní svaloviny .....	13
2.1.1 Makrostruktura .....	13
2.1.2 Mikrostruktura.....	13
2.1.3 Svalová kontrakce .....	14
2.1.4 Energetika svalové kontrakce.....	15
2.1.5 Efektivita svalové kontrakce .....	16
2.2 Lymfatický systém.....	17
2.2.1 Ontogeneze a fylogeneze lymfatického systému .....	17
2.2.2 Funkce a anatomie lymfatického systému.....	18
2.2.3 Hydrodynamická regulace lymfatických cév .....	19
2.2.4 Lymfatický systém dolních končetin .....	21
2.3 Vliv zátěže na organismus .....	22
2.3.1 Homeostáza .....	23
2.3.2 Svalová únava .....	24
2.3.3 Centrální svalová únava .....	25
2.3.4 Periferní únava .....	26
2.4 Periodizace tréninkového cyklu .....	29
2.4.1 Adaptace a tréninkový efekt.....	29
2.4.2 Periodizace .....	32
2.5 Kompresní terapie .....	32
2.5.1 Tlak.....	32
2.5.2 Kompresní intermitentní terapie vzduchem .....	34
2.5.3 Kompresní intermitentní tlaková terapie po výkonu.....	35
2.6 Termoterapie .....	37
2.6.1 Termoregulace.....	37
2.6.2 Termoregulace během výkonu .....	38
2.6.3 Neurofyziologické aspekty negativní termoterapie.....	38
2.6.4 Intervence chladem po výkonu.....	39
2.7 Souhrn teoretických poznatků.....	40



3	Metodologie práce .....	42
3.1	Cíle .....	42
3.2	Výzkumné otázky .....	42
3.3	Hypotézy .....	42
3.4	Pracovní úkoly .....	44
4	Metodika práce .....	45
4.1	Zpracování teoretických východisek .....	45
4.2	Výzkumný soubor .....	45
4.3	Použité metody.....	47
4.3.1	Testování CMJ .....	47
4.3.2	YOYO IR1 .....	48
4.3.3	Kryo-kompresní terapie.....	49
4.3.4	Popis protokolu pro intervenci přístrojem NormaTec 3.0.....	50
4.3.5	Sběr dat.....	50
4.3.6	Analýza a zpracování dat .....	52
5	Výsledky .....	54
5.1	Výzkumný soubor .....	54
5.2	Statistické vyhodnocení dat .....	56
5.2.1	Vyhodnocení hypotézy č. 1 .....	56
5.2.2	Vyhodnocení hypotézy č. 2.....	58
5.2.3	Vyhodnocení hypotézy č. 3 .....	60
5.2.4	Vyhodnocení hypotézy č. 4.....	62
5.2.5	Vyhodnocení hypotézy č. 5 .....	64
5.2.6	Vyhodnocení hypotézy č. 6.....	66
5.2.7	Vyhodnocení hypotézy č. 7 .....	68
6	Diskuze .....	71
6.1	Diskuze hypotézy č. 1 .....	73
6.2	Diskuze hypotézy č. 2 a 3 .....	73
6.3	Diskuze hypotézy č. 4 .....	74
6.4	Diskuze hypotézy č. 5 .....	77
6.5	Diskuze hypotézy č. 6 .....	79
6.6	Diskuze hypotézy č. 7 .....	79
6.7	Limity výzkumu.....	81
7	Závěr.....	82

8	Zdroje.....	84
9	Seznam použitých obrázků .....	99
10	Seznam použitých grafů.....	100
11	Seznam použitých tabulek .....	101
12	Seznam příloh .....	102

## Seznam použitých symbolů a zkratek

ADP = adenosindifostát

ATP = adenosintrifostát

CMJ = Counter Movement Jump

CWI = cold water immersion

Č. = číslo

DK = dolní končetina

GRS = Game Ready System

HOD./H = hodina

IPC = intermitentní pneumatická komprese

m. = musculus

MD = matchday

MDL = manuální lymfatická drenáž

např. = například

PCr = kreatinfosfát

Tj. = teplota jádra

Tzn. = to znamená

Tzv. = takzvaně

# 1 Úvod

V posledních letech je regenerace a snížení svalové únavy velmi diskutovaným tématem mezi sportovci, ať už profesionálními nebo amatérskými. Zvyšující se nároky na výkon jdou ruku v ruce s nárůstem fyzické zátěže, která mnohdy dosahuje hranic sportovce. Ti jsou pak nuceni maximalizovat svou regeneraci, tak aby efektivně využili i hodinové rozestupy, které mají mezi jednotlivými tréninky v daný den či v rámci týdenního mikrocyklu.

Fotbal je přerušovaný týmový sport, v němž se střídá vysoká intenzita s aktivitami nízké intenzity nebo odpočinkem, chůzí. Nicméně za poslední roky se mění styl hry a tréninky i zápasy se hrají v daleko vyšší intenzitě. Fotbalisté tak hrají delší čas ve sprintu. Zátěž, které jsou vystaveni, vede k přechodné, akutní nebo chronické únavě. Únava je komplexní, multifaktoriální stav, který závisí na mnoha proměnných, jako je fyzická kapacita, psychické rozpoložení hráče, technické dovednosti, herní pozice hráče, taktická role, motivace a perioda ročního tréninkového cyklu. V dnešní době je široké spektrum metod a přístrojů, které jsou propagovány jako nástroje pro optimalizaci regeneračních procesů a jejich zefektivnění. Nicméně názory na mnohé z nich jsou diskutovanou tématikou s rozporuplnými závěry o jejich účinnosti.

Kluby týmových sportů mají výhodu ve vyšším kapitálu, kterým disponují, a snadněji si tak mohou pořídit finančně nákladnější technologie. Na druhou stranu je žádoucí, aby danou intervencí podstoupilo, co nejvíce hráčů z týmu. Je tedy vhodné hledat terapii s relativně krátkou časovou náročností a objektivně potvrzeným účinkem. Kompresní terapie a kryoterapie jsou dvě z mnoha metod stále propagovaných jako regenerační „boostery“ i přes neshody o pozitivním přínosu mezi autory studií. Možným limitem pro insuficientní účinek během studií může být nedostatek poznatků o správném načasování aplikace anebo proměnné parametry aplikace (délka trvání, tlak či teplota).

Téma diplomové práce jsem zvolila z důvodu osobní zkušenosti s fotbalem a jeho náročností během celého roku, a to mimo jiné z důvodu méně individuálního přístupu k jednotlivým hráčům. Stejnou tréninkovou zátěž musí absolvovat všichni, a to bez ohledu na aktuální fyzické a psychické rozpoložení. V současné době se na trhu objevila nová technologie kombinující kryoterapii s terapií kompresní. Tato skutečnost mě vede k otázkám ohledně regenerace fotbalistů a možnosti, jak tento proces maximalizovat, aby měl pozitivní efekt navzdory krátkému času.

## 2 Teoretická část

### 2.1 Fyziologie kosterní svaloviny

#### 2.1.1 Makrostruktura

Každý kosterní sval se skládá ze svalových buněk a svalové tkáně. Jednotkou příčně pruhovaného svalstva je svalové vlákno. Svalová vlákna jsou mnohoaderné cylindrické buňky, jejichž délka se pohybuje v řádech milimetrů až po desítky centimetrů. V průměru se jejich šířka pohybuje od 50 do 100 mikrometrů. Kolem kosterní svaloviny nalézáme také pojivovou tkáň, nervovou tkáň a cévy (Haff et al. 2016).

Pojivová, tkáň na povrchu svalu tzv. epimyzium, se řadí mezi extracelulární matrix. Je spojeno s fasciální tkání a sbíhá se do šlach na začátku a úponu všech svalů, čímž se podílí na přenosu sil. Struktura kolagenních vláken epimyzia je variabilní v závislosti na tvaru a funkci svalu. Pod epimyziem je až 150 svalových vláken seskupených do fascikulů, svalových snopců obalených pojivovou tkání, perimyziem. Perimyzium jsou ve dvou vrstvách organizovaná kolagenní vlákna pod úhlem 55° nebo -55° paralelně ke směru svalových vláken v délce svalu bez kontrakce (Gillies, Lieber 2011; Purslow 2020; Purslow 2010).

Každé svalové vlákno je ohraničeno sarkolemou. Na povrchu je dále obklopeno sítí kolagenních vláken zvanou endomyzium. V endomyziu také probíhají krevní kapiláry pro výživu svalových vláken (Haff et al. 2016; Porter, Wilson 2021).

#### 2.1.2 Mikrostruktura

Základním funkčním prvkem svalového vlákna je sarkomera, která je na koncích ohraničena Z-liniemi. Tyto linie nebo také Z-disky jsou charakteristické vysokou densitou proteinů a elektronů. Více Z-linií za sebou je zapojeno do série. Esenciální myofilamenta pro svalovou kontrakci jsou aktinová a myozinová bílkovinná vlákna. Aktin se v sarkomeře vyskytuje ve větším množství než myozin. Kolmo na Z-linie, konce sarkomery, jsou ukotvena tenká aktinová filamenta částečně překrývající silná myozinová vlákna. Tato vlákna jdou středem sarkomery a jsou uložena paralelně s osou buňky a aktinovými filamenty. Důležitou charakteristikou bílkoviny myozinu je tvar. Tato bílkovina se skládá z kulovité hlavy, ohebného krku (tyto dvě části dohromady tvoří příčný můstek) a těla tyčinkovitého typu tělo. Tento tvar je stěžejním pro možnou interakci mezi aktinem a myozinem (Dave et al. 2024; Sweeney, Hammers 2018).

Paralelně uspořádaná vlákna myozinu utváří A-úseky. Tento anizotropní úsek je středem sakromery a je dále rozdělen proužkem příčných můstků H–mezofragmou. Vlákna jsou složená ze dvou spirálně stočených makromolekul sahajících mezi myozinová vlákna. Jejich středy jsou napříč spojeny tzv. M-linií. Myofilamentová vlákna se částečně překrývají. Vzniká tak obraz příčného pruhování, kdy se střídají izotropní úseky (I) s tenkými aktiniovými vlákny. V tmavých částech anizotropních pásů (A) jsou přítomna tenká vlákna aktinu i tlustá vlákna myozinu (H-proužek) (Gash et al. 2024; Kittnar 2020).

Další molekulou bílkoviny přítomnou v sarkomeře je titin. Molekula titinu plní stabilizační funkci, dále funkci tzn. pasivní síly, kdy na základě kompozice z kolagenních vláken umožňuje produkci síly bez spotřeby energie a závislosti na aktino-myozinovém můstku. Titin je zakotven do Z a M linie sarkomery a v relaxovaném svalu zabezpečuje anatomickou kontinuitu sarkomery. Také fixuje myozinová vlákna v A-úseku proti bočnímu posunu při kontrakci. Přitom nijak neomezuje vzájemné zasouvání aktinu a myozinu (Haff et al. 2016; Herzog 2018).

### **2. 1. 2. 1 Aktin a myozin**

Aktinový monomer (G-aktin) je polymerizován na dlouhá filamenta (F-aktin), která tvoří pevnou šroubovici vláken. Ovšem pouze za předpokladu fyziologických podmínek s dostatkem ATP,  $Mg^{2+}$  a  $K^+$ . Důležitou vlastností F-aktinu je vnitřní struktura a polarita, která je zajištěna variabilitou orientace G-aktinu na vláknech. Svalový myozin II. je protein skládající se ze čtyř lehkých a dvou těžkých řetězců. Těžké řetězce mají dvě části hlavy a konec z anglického překladu „prut“. Tato koncová část je pomocí flexibilní ohebné části připojena právě k dvěma globulárním „hlavám“ myozinu na druhém konci (Dave et al. 2024).

### **2. 1. 3 Svalová kontrakce**

Neuromuskulární synapse mezi axonem alfa-motoneuronu a svalovou buňkou je realizována pomocí presynaptické a postsynaptické membrány. Presynaptická membrána je terminální axon alfa-motoneuronu obsahující neurotransmitter acetylcholin. Po stimulaci akčním potenciálem dojde k uvolnění těchto neurotransmiterů na postsynaptickou membránu, sarkolemu. Tato událost zapříčiní depolarizaci buňky a otevření kanálů pro ionty sodíku, které poté prochází přes membránu do svalové buňky. To generuje akční potenciál, který se šíří po T-tubulech a sarkoplazmatickém retikulu.

Zároveň se uvolní ionty vápníku, které jsou potřebné pro realizaci svalové kontrakce. Aktinová filamenta jsou asociována také s troponinem, který se váže právě na ionty vápníku a reguluje tak kontrakci (Gash et al. 2024; Wakabayashi 2015).

Troponin je složen ze tří komponent či podjednotek, tropomyosin vázající se (Tn-T), inhibiční komponent (Tn-I), a na  $\text{Ca}^{2+}$  se naváže na troponin (Tn-C), což vede k umožnění myozinu, aby se navázal na aktinová vlákna. Tento jev představuje svalovou kontrakci. V klidovém stavu svalu kryje troponin-I oblast kontaktu aktinu a myozinu. Celá tato událost je závislá na energetickém příjmu ATP (Gash et al. 2024; Kittnar 2020).

#### **2. 1. 4 Energetika svalové kontrakce**

Energie potřebná ke kontrakci (mechanické práci) je získávána z chemických reakcí. Množství, které je zapotřebí je variabilní a záleží na několika proměnných, typu kontrakce (izometrická, koncentrická a excentrická), teplotě, délce a průřezu svalu a době trvání kontrakce. Energie uložená v molekule ATP je zpravidla použita ke konformační změně molekuly s ATPázovou aktivitou. Z hlediska mechanismu kontrakce jde zejména o hydrolyzu ATP, která podmiňuje ohyb myozinových hlav. Je nutné zmínit, že samotná hydrolyza ATP způsobuje oddálení hlav myozinu od aktinu, které však nabije krček mechanickou elastickou energií pro následnou kontrakci zahájenou uvolněním  $\text{Ca}^{2+}$ , vznikem aktino-myozinového můstku a vyčerpáním uložené energie způsobující vzájemný posun aktinu a myozinu o několik nanometrů. Tato energie je distribuována svalovou tkání v průběhu kontrakce. ATP je také spotřebovávána k pumpování  $\text{Ca}^{2+}$  ze sarkoplazmy do sarkoplazmatického retikula a extracelulárního prostoru. Část ATP je rovněž využita k udržení náležitých sodíkových a draslíkových rovnovážných potenciálů prostřednictvím  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATPázy. Koncentrace ATP v sarkoplazmě dosahuje hodnot přibližně 4 mmol/l. To stačí k udržení plné kontrakce po dobu jen 1 až 2 sekund (Barclay 2015; Haff et al. 2016; Wakeling et al. 2020).

Aby kontrakce pokračovala dále, je nutno molekuly ADP refosforylyzovat, a to opět za použití energetických zdrojů. V první řadě je použit kreatinfosfát obsahující fosfátovou vazbu, tím je umožněn vznik ATP z jedné molekuly ADP za vzniku kreatinu. Jenže i tento zdroj je mnohdy nedostačující a dalším příjmem energie je glukóza v glykogenu, jež je součástí svalových buněk, a z níž se procesem zvaným glykolýza získává energie. Glykolýzou se udržuje jak koncentrace kreatinfosfátu (PCr), tak i ATP za tvorby pyruvátu a kyseliny mléčné. Podstatnou charakteristikou glykolýzy je možnost

průběhu toho procesu i bez dostatečné oxygenace svalové tkáně. Stav nedostatečné oxidace svalové tkáně je běžný jev, který nastává, když je zátěž svalové tkáně delší než 10 s bez oxidace. Ovšem důsledkem ukládání kyseliny mléčné a glykogen-pyruvátu do sarkoplazmy dochází k nežádoucí acidifikaci a kapacita svalu je vyčerpána zhruba po jedné minutě. Laktát neboli kyselina mléčná a pyruvát jsou v játrech zpracovány na glukózu. Kyselina mléčná je odplavována do krevního oběhu pomocí difúze. Mnohdy je krevní oběh limitován a není možné odplavit veškerou kyselinu mléčnou a dochází k překročení buněčné kapacity. Tím je způsoben výrazný pokles pH a inhibice důležitých enzymů včetně ATPázy. Při fyzické zátěži v rozmezí (2 – 4 hod.) se prvotně získává energie ze sacharidů. Zpočátku z glukózy v krevním oběhu a poté glykolýzou ze svalového glykogenu. Po ukončení svalové zátěže se musí akumulované metabolity (převážně laktát) oxidativním metabolismem rozložit. Je tedy zapotřebí dostatečného množství kyslíku přímo úměrnému energii, o kterou byla překročena aerobní kapacita svalu během fyzické práce (Kittnar 2020; Menuet a Arsac 2008).

### **2. 1. 5 Efektivita svalové kontrakce**

Sval je termodynamický prvek, který má schopnost přeměny chemické energie na mechanickou. Práce vykonaná svalem je realizována pomocí výdeje metabolické energie, který je kvantifikován jako teplo + práce, tzv. entalpie. Poměrem mezi vykonanou prací a vyprodukovanou *enthalpií* lze vypočítat účinnost, jinými slovy efektivitu svalové kontrakce. Teplo se produkuje již při navázání iontů  $Ca^{2+}$  na troponin-C. Vlivem viskózního tření vznikajícího naopak při velmi rychlé kontrakci je efektivita nižší než ideálních 45 %. Rozlišuje se několik typů tepla produkovaného svalem. Je to teplo klidové, kdy sval nepracuje. Teplo aktivační, které je dáno vznikem aktino-myozinových můstků a teplo kontrakční, které je úměrně délce zkrácení svalu. Po zátěži ještě dochází k produkci tepla relaxačního (Barclay 2015; Kittnar 2020).

Dle autora Smith et al. (2005) lze předpokládat tato účinnost v různých energetických výdajích a jejich součtech dle číselného označení:

- 40% účinnost - 1. ATP použita k vytvoření aktino-myozinového můstku
- 36% účinnost - 1.+ 2. výdaje - ATP využitá k funkci iontové pumpy
- 56% účinnost - 1.+2.+ 3. výdaje - refosforilazce ATP kreatinkinázou



## 2. 2 Lymfatický systém

První zmínka o lymfatických cestách se objevila již za dob Mezopotámie. Hippokratés popisoval lymfu jako „bílou krev“. Oproti tomu filozof Aristoteles chápal lymfatický systém spíše jako „tubuly s čirou kapalinou“. V 17. století objevil profesor a lékař Gasparo Asellio lymfatické cévy zcela náhodou, když chtěl zkoumat nervus recurrens. Nazýval je „mléčnými drahami“. Tato událost zásadně změnila smýšlení a otevřela nové kapitoly pro zkoumání dalším generacím (Gavins et al. 2020; Natale et al. 2017).

### 2. 2. 1 Ontogeneze a fylogeneze lymfatického systému

Lymfatický systém vzniká u lidského embrya v šestém až sedmém týdnu a přibližně o tři až čtyři týdny později po ontogenezi vaskulárního systému řečiště (Gavins et al. 2020; Yang a Oliver 2014).

V současné době jsou dvě teorie o pravděpodobném původu systému. První je tzv. centrifugální teorie z roku 1902 od autora Sabin (1902). Ta pojednává o derivaci lymfatického systému ze systému vaskulárního, a to během raného vývoje. Hypotéza se opírá o přítomnost endotelových buněk ze, kterých se oddělí primární lymfatické váčky během fetálního vývoje plodu. Takto vytvořený primární váček se po úplné izolaci vyvíjí procesem zvaným „endotelové pučení“, růst, díky kterému se vytvoří periferní lymfatické cévy vedoucí k tkáním a orgánům, kde se následně dokončí ontogeneze do vzniku lymfatických kapilárních cév. Klíčovým pro tento proces je faktor VEGF-c a VEGF- 3 (vaskulární endotelový růstový faktore-c a 3) (Gavins, Alexander 2020; Jones a Min 2011; Ribatti 2018; Ribatti, Crivellato 2010).

Tuto hypotézu potvrdil ve 20. století Wigle et al. (2002), který k experimentu a objasnění použil laboratorní myši. Druhá hypotéza z roku 1908 od autorů Huntington a McClure (1908), kteří oponující a propagují alternativní možnost výše zmiňovaného centrifugálního vzniku. Tzv. „centripetální“ hypotéza je zcela nezávislá na krevním řečišti. Zásadními buňkami jsou mesenchymální prekurzory buněk, lymfogioblasty. Tvrdí, že spojení s krevním řečištěm je až sekundární fáze vývoje (Cueni, Detmar 2008).

Autor studie Schneider et al. (1999) podporují spojení těchto teorií, kdy upozorovali centrifugální oddělování z krevních cév za současného růstu lymfatického systému z lymfatického váčku. Tímto tvrzením potvrzuje současný průběh obou hypotéz.

## 2. 2. 2 Funkce a anatomie lymfatického systému

Mízní neboli lymfatický systém tvoří rozsáhlá síť lymfatických cév, která vede paralelně vedle krevního řečiště. Lymfatický systém odvádí makromolekulární látky, zplodiny látkové výměny a převádí je do krevního oběhu. Udržuje tedy makromolekulární homeostázu. Také se podílí na absorpci tuků z tenkého střeva, v tučích rozpustitelných vitamínů a transportu tuků do jater. Primární funkcí je udržet rovnovážné množství intersticiální tekutiny a její odvod. Neméně důležitou funkcí je obranyschopnost organismu. Díky lymfatickému systému dochází k distribuci antigenů a leukocytů do lymfatických uzlin a následně do lymfatických a krevních cév (Null et al. 2024; Petrova, Koh 2020; Scallan et al. 2016).

Pro kompletaci doposud probádaných funkcí mízního systému je nutné zmínit výskyt lymfatických cév v durálních sinech pro zajištění transportu T – leukocytů, což představuje klíčovou roli propojující centrální nervovou soustavu s lymfatickým systémem. Ve spojitosti s procesy ovlivňujícími funkčnost a kvalitu vizu je stěžejní Schlemmův kanál, který je důležitý pro udržení fyziologických procesů v oku. Tyto procesy se odehrávají za pomoci unikátní kombinace lymfatických a krevních cév pro drenáž tekutiny z přední komory oka (Kizhatil et al. 2014; Louveau et al. 2015; Null et al. 2024).

V porovnání s krevním oběhem je lymfatický systém velice variabilní, co se anatomického uspořádání týče (Hsu et al. 2016).

Lymfatický (mízní) systém se skládá z lymfatických uzlin, thymu, Peyerových plaků, sleziny a lymfatické tkáně nehomogenně rozseté v játrech, plicích a kostní dřeni. Jedná se o nepostradatelné složky imunitního systému a lymfatických cév, které transportují lymfu z intracelulárního prostoru do systémové cirkulace. Lymfatické cévy začínají v intersticiu, poté pokračují jako iniciální lymfatické cévy a vzájemným anastomózováním (otevíráním lymfo-venózních spojek) tvoří lymfatickou kapilární síť. Z těchto sítí mízních kapilár se tvoří prekolektory a kolektory (míznice), které jsou v průběhu napojeny na lymfatické uzliny. Lymfa je odváděna do centrálního žilního systému díky hlavním mízním kmenům (mízovodům), jež vznikají propojením kolektorů. Součástí lymfatických kolektorů je chlopnový systém tvořený obvykle párem chlopní, který zabraňuje zpětnému toku lymfy. Tento zpětný tok je také eliminován díky vlastním stahům úseků lymfatických kolektorů podporující pouze jeden směr toku lymfy. Pohyb lymfy je zajišťován filtračním tlakem a rychlostí tvorby intersticiální tekutiny z krevních

kapilár, dýchacími pohyby s negativním nitrohrudním tlakem i negativním (nasávacím) tlakem velkých žilních kmenů. Transport lymfy je ovlivněn i kontrakcí kosterních svalů a pulzací tepen v okolí mízních cév. Lymfatické uzliny jsou vmezeřeny v průběhu mízních cév a pracují na principu fagocytózy jako filtry. Vede do nich lymfa z aferentních lymfatických cév a transportují tuto lymfu skrze eferentní cévy. To je důležité při imunitních procesech. Za jeden den se zhruba 10 % tkáňového moku odvádí lymfatickým systémem, což představuje 2-4 litry mízy, která obsahuje proteiny v rozmezí od 80 do 200 g (Klauzová 2010; Null et al. 2024). Dle autorů Wiig a Swartz (2012) je denní objem lymfy 8-12 litrů.

### **2. 2. 3 Hydrodynamická regulace lymfatických cév**

Kombinace vnějších (pasivních) a vnitřních (aktivních) sil pohybuje lymfou proti gradientu hydrostatického tlaku. Lymfatický cévní systém se skládá ze dvou hlavních kategorií cév. Počáteční lymfatické cévy, které z intersticiální tekutiny tvoří lymfu a jsou nekontraktilní. A druhou kategorií jsou sběrné lymfatické cévy, kolektory, které mají svalové buňky ve stěnách a zodpovídají za tonus a relativně rychlé stahy (Bertram et al. 2018; Scallan et al. 2016).

#### **2. 2. 3. 1 Vnitřní lymfatická pumpa**

Ve spojitosti s lymfatickým systémem se nemůžeme bavit o řídicí jednotce pumpující lymfu celou soustavou, jako je tomu u kardiovaskulární soustavy. Lymfatický systém nemá za fyziologických podmínek přímá spojení s krevními kapiláry, tím pádem nemůže být energie srdeční systoly a diastoly využita přímo k vytvoření tlakového gradientu lymfatického systému. Nicméně negativní tlak se v lymfatické soustavě objevuje blízko centrálním vénám, kde je tlak vyšší než bazální vnitřní lymfatický tlak v oblasti lymfatických kapilár. Lymfatický systém má vlastní síť v sérii zapojených vnitřních pump, tzv. lymphangionů, sběrných komor, které se kontrahují a jsou nezbytné pro mízní tok. Kontrakce probíhá díky svalovým buňkám v lumen cév. Tyto svalové buňky jsou popisovány jako hladká svalovina s funkcemi a fyziologií srdeční svaloviny. Kontrakce je regulována především rovnováhou aktivity kinázy lehkých řetězců myozinu/fosfátázy a lehkých řetězců myozinu. Aktivita řídí fosforylaci lehkých řetězců myozinu. Kontrakce dominantně závisí na influxu  $Ca^{2+}$  přes L-tyt kanálů pro průchod iontů vápníku. Nicméně pohyb lymfy vyžaduje nejen silné kontrakce lymfatických svalových buněk, ale také synchronizované kontrakční vlny po celé délce lymphangionu

a správně fungující jednosměrné intraluminální chlopně (Gavins et al. 2020; Chakraborty et al. 2015; Jamalian et al. 2017; Scallan et al. 2016).

Stahy jednotlivých pump jsou koordinovány, tak aby lymfa tekla k centru od jedné pumpy k druhé. Při kontrakci se lymfangiony díky svalovině kontrahují až na 20 % klidového průměru (Gavins et al. 2020; Muthuchamy et al. 2003).

### **2. 2. 3. 2 Vnější lymfatická pumpa**

Jedinečným rysem dynamiky lymfy jsou hnací síly generované aktivní lymfatickou pumpou, které jsou značně ovlivněny působením vnějších lymfatických sil. Tyto síly mohou mít někdy větší vliv na tok lymfy než vnitřní síly pumpy. Součet vektorů těchto sil nemusí vždy být příznivý pro tok lymfy. Působení proměnlivých vnějších lymfatických sil mnohdy komplikuje tlakové a průtokové poměry v lymfatické síti, které se mohou výrazně lišit, a to i ve stejné oblasti lymfatického systému těla v závislosti na úrovni aktivity tkání a orgánů obklopujících lymfatické cévy. Vnější lymfatické hnací síly zahrnují tvorbu lymfy, cyklické kontrakce a vlivy okolních tkání jako srdeční a arteriální pulzy, kolísání žilního tlaku, kontrakce kosterního svalstva přiléhajícího k lymfatickým cévám, peristaltika trávicího traktu a svalové pohyby, které se projevují na lymfatických cévách jako je aktivní děj dýchání (Gavins et al. 2020; Zawieja 2009).

Všechny tyto síly mohou mít vliv na hydrostatické gradienty v lymfatické síti, které by mohly účinně pohánět lymfu, a to někdy i v případě, že by lymfa nebyla poháněna vnitřními silami cév. Tok lymfy má přímou závislost na intenzitě tvorby lymfy. Obecně platí, že mají lymfatické kapiláry své vlastní kapacitní limity. To vysvětluje závislost, čím rychleji stoupá objem nově vytvořené lymfy uvnitř dané regionální lymfatické kapilární sítě, tím rychleji nadměrné objemy lymfy přesunou po proudu do příslušných sběrných lymfatických cév. Mnoho lymfatických cév je ovlivňováno kontrakcemi přilehlých nebo okolních kosterních svalů, které způsobují střídavé kontrakce a dekontrakce, a tím opětovnou expanzi cév a vytvářejí dodatečné síly k vyprázdnění lymfatických cév a znovu naplnění. To bylo prokázáno prostřednictvím přímé korelaci lokálních hodnot lymfatického tlaku a tlaku v lymfatických cévách a úrovně lymfatického tlaku v lymfatických uzlinách (Gavins et al. 2020).

## **2. 2. 4 Lymfatický systém dolních končetin**

Mízní síť dolních končetin má dvě složky hlubokou a povrchovou. Povrchová či jinak subkutánní odvádí lymfu z kůže a podkoží. Zatímco hluboký neboli subfasciální systém ze svalů, kloubů a nervů (Eliška 2018).

Kombinace vnějších a vnitřních sil pohybuje lymfou proti hydrostatickému tlakovému gradientu. Během odpočinku je přibližně 1/3 lymfy z dolních končetin transportována vnější pumpou a zbylé 2/3 vnitřní pumpou sítí kontrahujících se kolektorů (Scallan et al. 2016).

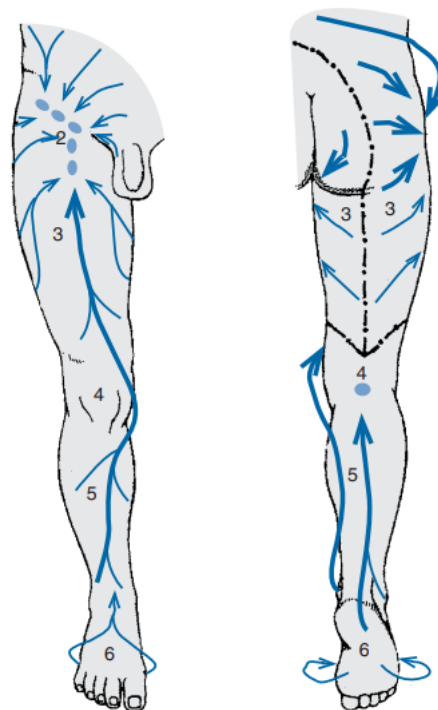
### **2. 2. 4. 1 Regionální lymfatické uzliny**

Povrchové uzliny leží ve spodní vrstvě podkožní tukové tkáně, proto jsou palpovatelné pouze u velmi štíhlých osob. Jsou uloženy spolu s v. saphena magna v podkožním vazivu. Většina uzlin se nachází v trigonum femorale, jehož hranice tvoří lig. inguianle, m. sartorius a m. adductor longus. Samozřejmě některé inguinální uzliny mohou ležet také mimo trigonum. Celkový počet uzlin není určen, v průměru však můžeme nalézt deset uzlin. Povrchové uzliny jsou rozděleny do pěti zón pomocí kříže se středem v centrální zóně, ústí v. saphena magna. V I. zóně jsou zpravidla čtyři nll. inguinales superolaterales. V zóně II. lze najít v průměru dvě uzliny nll. inguinales superomediales. Tyto dvě zóny nazýváme tractus horizontalis. Tractus verticalis tvoří III. zóna, která zahrnuje nl. inguinales inferomedialis a zóna IV., kde jsou obvykle čtyři nll. inguinales inferolateralies. Poslední nezmíněnou zónou je V. centrální zóna, která zahrnuje nl. centralis s. presaphenus. Je nutné zmínit, že tato V. zóna není součástí tractus verticalis (Eliška 2018).

### **2. 2. 4. 2 Manuální lymfodrenáž**

Manuální lymfatická drenáž (MLD) je metoda zvyšující frekvenci naplňování a vyprazdňování lymfatických cév, tvorbu lymfy, rozšíření cév a podporu Frank-Starlingova mechanismu. Ten vede ke zvýšení náplně cév díky rozšíření cév. MLD má dvě hlavní fáze, tlakovou a relaxační. Během tlakové fáze je lymfa krouživými pohyby jemně tlačena směrem k centru lymfatického systému. Stimulací lymfatických cév a podkoží se zvyšuje tvorba lymfy a její proudění. Poté nastává fáze relaxační, kdy se po vypuzení lymfy cévy opětovně plní. Během terapie se postupuje od proximálních částí distálně (obrázek č. 1). Tato fáze se nazývá jako před-terapeutická, kdy se vyprázdní obsah proximálně uložených uzlin, a tím se uvolní prostor pro lymfu z periferie. V jedné

oblasti aplikace metody MDL je provedeno pět až sedm krouživých pohybů. Nejprve je jemným tlakem stimulován proud lymfy směrem k centru těla. Poté se přejde na inguinální lymfatické uzliny ve třech místech v tříselné krajině – jemné kroužky pumpování. Následuje horní část DK – anatomicky odpovídá oblasti svalové skupiny adduktorů – provádí se statické kroužky a následně pumpování. Navazuje ošetření kolenní oblasti – statické ošetření lnn. Poplitei, pumpování přes patellu, mediální strana kolenního kloubu statické kroužky. Tyto oblasti jsou stěžejní pro úspěch pre-terapie (Delicce, Makaryus 2024; Földi, Strössenreuther 2005).



Obrázek 1: Dolní končetina se schématickým znázorněním MDL, (Kablan et al., 2021)

### 2. 3 Vliv zátěže na organismus

Již během svalové zátěže dochází k zvýšené produkci laktátu, a tím dochází k snížení oxidativní kapacity svalu. To má za následek rychlejší nástup svalové únavy. Únava je ochranným mechanismem před úplným vyčerpáním a poškozením svalové tkáně. Svalová únava přímo souvisí s akumulací metabolitů ve svalových buňkách a vlivem na přenos signálů v CNS. Dalšími příčinami může být vyčerpání či úbytek svalového glykogenu a pokles glukózy v krvi. A důležité je také zmínit dehydrataci, zvýšení tělesné teploty či vyčerpání neurotransmiterů (Kittnar 2020).

### 2. 3. 1 Homeostáza

Homeostáza znamená relativně stabilní rovnováhu, kterou charakterizují konstantní reakce na vnitřní (např. zvýšení pulsu při tréninku) a vnější (např. teplota prostředí) faktory. Proměnné homeostázy jsou regulovány, tak aby se pohybovaly v optimální zóně a mimo tuto zónu se snižuje šance na přežití. Například tělesná teplota může nabývat hodnot 15-42 °C. Nicméně, optimální je 36,6-36,8 °C. Adaptační reakce však spočívají v obnovení optimální teploty třesem, aby se vytvořilo teplo nebo pocením, aby se tělesná teplota snížila. Fyzický trénink může u jednotlivců vyvolat významné rozdíly prostřednictvím adaptačních procesů. Například netrénovaní sportovci při testu vytrvalostního běhu přeruší aktivitu, když kyselina mléčná v krvi dosáhne 8-10 mmol/l, zatímco trénovaní sportovci pokračují v běhu nad 20 mmol/l. Homeostáza tedy znamená vnitřní dynamickou rovnováhu s optimálními hladinami, které se mohou lišit mezi jednotlivci (Libretti 2024; Radák 2018).

Homeostáza po fyzické zátěži souvisí s diskutovaným tématem EIMD = exercise induces muscle damage neboli svalové poškození způsobené cvičením. To vyvolává zánětlivou a imunitní reakci organismu. Tyto účinky jsou zprostředkovány různými faktory, včetně uvolňování prozánětlivých cytokinů vyvolaných cvičením, stresových hormonů a hemodynamických účinků vedoucích k redistribuci buněk. V literatuře existují důkazy o podílu několika cytokinů na patogenezi svalového ochabování a sarkopenie, zejména TNF- $\alpha$ , ale také IL-1 $\beta$ , IL-6, interferonu (IFN)- $\gamma$  a transformujícího růstového faktoru (TFG)- $\beta$ . To je odpověď, které nechceme dlouhodobě dosahovat při tréninkovém zatížení. Avšak je nutné na zánětlivou a imunitní reakci pohlížet i z pozitivního hlediska. Zda sval atrofuje nebo hypertrofuje, závisí na rovnováze, homeostáze, mezi rychlostí syntézy a odbouráváním bílkovin. Ve zjednodušené interpretaci o této rovnováze rozhoduje PGF2 $\alpha$  (syntéza) a PGE2 – predominantní prostaglandin (odbourávání) (Gomez-Cabrera et al. 2016). Autor Peake et al. (2005) provedl studii zkoumající biomarkery náročného excentrického tréninku flexorů loketního kloubu u deseti netrénovaných mužů s opětovným měřením po měsíčním rozestupu. Výsledkem po prvním cvičení bylo dramatické zvýšení zánětlivých markerů. Po měsíci již byla reakce organismu na cvičební protokol mírnější v nárůstu těchto zánětlivých markerů. Je tedy důležité vystavovat sportovce dostatečným stimulům pro jejich adaptaci na zátěž.

### 2. 3. 2 Svalová únava

Rozvoj svalové únavy se obvykle kvantifikuje jako pokles maximální síly nebo výkonové kapacity svalu, což znamená, že po nástupu svalové únavy lze udržet submaximální kontrakce. Jelikož maximální výkon, který může sval vyvinout při neustálé delší činnosti, klesá s prodlužující se dobou trvání úkolu. Vztah mezi produkcí výkonu a dobou trvání úkolu lze charakterizovat hyperbolickou funkcí, jejíž asymptota odpovídá kritickému výkonu a křivka označuje konečné množství práce, které lze vykonat nad kritickým výkonem při každé úrovni produkce výkonu (Enoka et al. 2016; 2008).

Bolestivost svalů se obvykle objevuje po výrazném svalovém zatížení, především po excentrických a izometrických svalových kontrakcích. Svalová struktura během intenzivního tréninku podněcuje mikroskopická poranění. Sarkomery odolávají kontrakcím pod různými úhly, a proto se objevuje poškození v různém rozsahu. Protahání může způsobit takové mechanické namáhání, že se myofilamenta od sebe vzdalují ze vzájemného překrývání, což brání propojení aktinu a myozinu, a tím i samotné kontrakci. Toto poškození přílišné elongace vede k poškození sarkolemy, Z-linie komplexu, sarkoplazmatického retikula a T-tubulů. Poškození sarkoplazmatického retikula, které uskládňuje vápenaté ionty, má za následek zvýšení intracelulárních vápenatých iontů, což vede k aktivaci proteáz a degradaci poškozených proteinů. Intenzivní cvičení způsobuje významné uvolňování prozánětlivých i proti zánětlivých cytokinů (molekuly regulující zánětlivou a imunitní reakci) a volných radikálů z aktivovaných leukocytů (Radák 2018; Suzuki et al. 2020).

Zánět je fyziologická ochranná reakce na počáteční poškození tkáně, kdy se markery zvyšují právě v poškozené tkáni, což se také označuje jako lokální zánět. Lokální zánět je obvykle doprovázen zarudnutím, otokem, bolestí a ztrátou funkce, při níž dochází k infiltraci leukocytů a produkci prozánětlivých cytokinů. Tyto zánětlivé reakce jsou v našem těle považovány za strážce, kteří chrání organismus před vnějšími škodlivými podněty, jako je např. mikrobiální infekce. IL-6 je hlavní cytokin, jehož hladina se po vytrvalostním cvičení výrazně zvyšuje. Reprezentativními regulátory odpovědi IL-6 na vytrvalostní cvičení jsou nízká dostupnost energie a tepelný stres, které podporují odpověď IL-6 a odpověď IL-6 následně koreluje s reakcemi stresových hormonů. Tyto regulátory jsou však potlačitelné zvýšeným přísunem energie a předchozími zásahy pro ochlazení organismu (Suzuki et al. 2020).



S intenzivním zejména excentrickým tréninkem je spojen vznik této pozdní svalové bolesti (DOMS), která je doprovázena dočasným snížením svalové síly, je velmi častým jevem u profesionálních atletů i začínajících amatérů. Jedná se o vrchol zánětlivé reakce zpravidla 24 až 48 hodin po námaze. Pro mnoho sportovců různých úrovní je pravděpodobně právě minimalizace závažnosti a trvání DOMS hlavním subjektivním ukazatelem zotavení. Pro podporu zotavení je nynějším fenoménem užívání NSAID farmaka, která tak mohou narušit prvotní fázi hojivého procesu tkáně zánětem, a to na chemické úrovni. Pro regeneraci DOMS jsou v dnešní době hledány jiné alternativy, jako tomu je např. ve studii autora Ayubi et al., (2022), který se zabýval vlivem kurkumy na zánětlivou reakci (Bezuglov a et al. 2021).

Během zánětu se mimo jiné zvyšuje hladina NO (oxid dusnatý), který může přímo inhibovat interakci aktin-myozin, a to vede ke snížení tvorby energie ve svalu a k jeho relaxaci. NO také aktivuje satelitní buňky, které se nejprve dělí a poté diferencují na svalové buňky. NO má tedy důležitou roli ve svalové regeneraci, která kromě aktivace satelitních buněk stimuluje i regeneraci svalů a produkci follistatinu, což zvyšuje regeneraci. Bolest svalů je výsledkem dráždění nociceptorů. Nociceptory mohou být aktivovány ATP, NO, glutamátem, NGF (nervový růstový faktor) a bradykininem, zatímco kyselina mléčná není aktivátorem nociceptorů. Trvání bolesti je rovněž určováno NGF, který stimuluje nemyelinizovaná nervová vlákna typu C (Radák 2018).

### **2. 3. 3 Centrální svalová únava**

Centrální únava strukturálně zahrnuje centrální nervovou soustavu, zejména procesy v mozku. Centrální únava je definována jako nedostatečná aktivita motorické kůry ovlivňující excitaci a inhibici neuronů během výkonu. Maximální svalová síla je tak snížena v důsledku klesajícího nábory motorických jednotek anebo neoptimální rychlosti nábory těchto jednotek. Eferentní informace z motorické kůry jsou přenášeny tenkými myelinizovanými A $\delta$  vlákny a tlustými nemyelinizovanými C vlákny. A právě tato vlákna jsou tak zodpovědná za vnímání bolesti např. i při svalové únavě. Nynější pohled na tento typ únavy přináší potencionálního „viníka“ centrální únavy, a to biochemické elementy (serotonin, glutamát, GABA, dopamin) a změny v jejich hladinách, které následně způsobí změny ve rychlosti přenosu akčního potenciálu axonu (glutamát) (Tornero-Aguilera, Jimenez-Morcillo 2022; Zajac et al. 2015).

Po ukončení cvičení se reaktivita kortiko-spinální dráhy rychle vrací na výchozí úroveň, zatímco kortikální aktivace zůstává po několik minut utlumena (Amann et al. 2015; Carroll et al. 2017; Gandevia 2001; Sidhu et al. 2013).

U celkového lokomočního cvičení je vzhledem k většímu množství svalové práce a následným větším kardiorepiračním nárokům během dynamického cvičení větší potenciál pro faktory ovlivňující centrální svalovou únavu, jako je hypertermie, respirační svalová zátěž, arteriální hypoxemie, snížení prefrontální nebo mozkové oxygenace, eflux katecholaminů, které mohou hrát roli v centrální regulaci homeostázy celého těla během lokomočního cvičení (Carroll et al. 2017).

Navíc průtok krve mozkiem se během submaximálního tréninku zvyšuje o 25 %. Při maximálním zatížení se však může snížit, tato skutečnost koreluje i s akumulací glutamátu během cvičení. Déle trvající vytrvalostní trénink vede při vysoké vnější teplotě a vlhkosti ke zvýšení tělesné teploty nad 40 °C v případě nedostatečné hydratace. Dle autora Marino (2008) se při výše zmíněných teplotách kosterní svaloviny nad 40 °C objevují příznaky jako nauzea, snížení koordinace pohybů (vážne nábor motorických jednotek) a vyčerpání. Důvodem může být také zvýšená hladina tryptofanu a serotoninu a snížená hladina dopaminu, což může být částečně zodpovědné za zhoršenou koordinaci lokomoce při únavě a možnou pozátěžovou mentální únavu. Navíc při náročném fyzickém tréninku vzniká amoniak prostřednictvím adenylátkinázové reakce ( $ADP+ADP=ATP+AMP$ ) z adenosinmonofosfátu, který nemůže být dále přeměněn na ATP, a proto je metabolizován na amoniak. Amoniak nepříznivě ovlivňuje lokomoci skrze jeho vliv na metabolické procesy v astrocytech a také ovlivňuje neurotransmitery, zhoršuje lokomoci, efektivní učení a paměť (Bompa, Buzzichelli 2019; Marino 2008; Radák 2018).

#### **2.3.4 Periferní únava**

Periferní únava silně koreluje s homeostázou. Je definována jako redukce účinnosti funkce neuromuskulární synapse na podkladě biochemických a metabolických změn. Projevuje se jako snížená síla a výkon. Při fyzickém tréninku může hladina glukózy v krvi výrazně klesnout. Hypoglykémie má nepříznivé účinky na normální funkci mozku, takže potlačuje fyzickou aktivitu. Konzumace sacharidů během soutěže (např. maraton, triatlon, tenis) tedy oddaluje vznik únavy, protože svalový systém oproti nervovému systému ukládá obrovské množství energie ve formě glykogenu. Ten může

klesnout

o 25-30 % během závodu na 15 km po rovině, jak bylo zjištěno při měření svalové biopsie. Nicméně s velkou pravděpodobností je ve většině případů periferní únavy zodpovědná hladina či senzitivita na  $\text{Ca}^{2+}$  (Carroll et al. 2017; Radák 2018; Tornero-Aguilera 2022).

#### **2. 3. 4. 1 Vápenaté ionty**

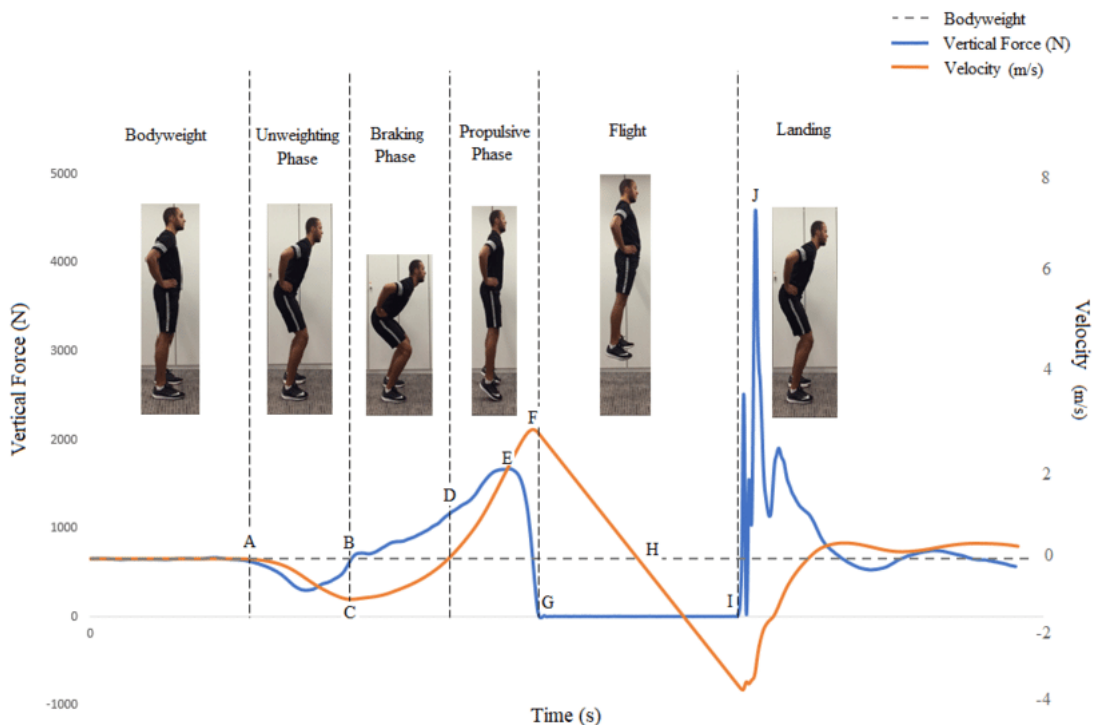
Svalové kontrakce jsou výsledkem řady iontových ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ) reakcí. Vyplavení draslíkových iontů zvyšuje jeho koncentraci v extracelulárním prostoru, což má za následek zhoršení svalové kontrakce. Ionty vápníku jsou již dlouho spojovány s únavou. Vazba vápenatých iontů na tropomyosin má za následek odkrytí vazebných míst myozinu na aktin. Nedostatek vápenatých iontů tak zabraňuje vzniku příčných můstků mezi aktinem a myozinem, čímž se nevytvoří kontrakce. Tento typ únavy byl upozorován při dlouhodobém tréninku nízké intenzity. Zhoršené zpětné vychytávání vápenatých iontů sarkoplazmatickým retikulem zabraňuje svalové relaxaci a nedostatečná relaxace antagonistického svalu může dokonce vyústit v natažení nebo natržení svalu. Únava způsobená poruchou zpětného vychytávání vápenatých iontů se vyskytuje především během cvičení vysoké intenzity. Nutné je zmínit i pokles CP (kreatinfosfátu), který také podporuje únavu, je zaznamenán během vysoce intenzivního tréninku. Hromadění kreatinfosfátu je omezené. Trénink vysoké intenzity podporuje nárůst  $\text{H}^+$  a kyseliny mléčné, což vede k nedostatečnému výkonu, zatímco alkalóza napomáhá regeneraci. Nízké pH zhoršuje spojení aktin-myozinových svalových vláken. Aktin-myozin a tvorba příčných můstků zahrnují slabý stav vazby a fázi silového tahu. Nízké pH zvyšuje percentil slabé vazby aktin-myozinových můstků, na úkor silných vazeb. Kromě toho nízké pH během anaerobních podmínek poškozují strukturu troponinu, který přímo zhoršuje svalovou kontrakci (Radák 2018).

#### **2. 3. 4. 2 CMJ testování svalové únavy**

Counter Movement Jump je test pro kvantifikaci neuromuskulárních funkcí, který testuje svalovou sílu a rychlost produkce síly dolních končetin (obrázek č. 2). Výkon atleta je při výskoku kvantifikován pomocí výšky skoku neboli jump height (JH) a letového času, flight time (FT). Tyto dvě hodnoty jsou shledávány jako indikátory výkonu při vertikálním výskoku. Pomocí CMJ mohou být monitorovány tréninkové

adaptace a neuromuskulární nebo metabolické svalové únavy nebo ekvivalentně stav regenerace z této únavy (Rago et al. 2018).

Ve více studiích se CMJ používá k charakterizaci únavy při funkčním dynamickém výkonu dolní poloviny těla po akutních tréninkových intervencích, nebo také jako longitudinální monitoring. Dle autorů Akyildiz et al. (2022) může být CMJ použit pro sledování neuromuskulární únavy u fotbalistů, kdy se autoři zabývali porovnáním maximální rychlosti při skocích u fotbalistů z kategorie U19 neboli pod 19 let. Výzkum autorů Bartol et al. (2022) použil u jiných typů sportů dokonce unilaterální měření CMJ, kdy zkoumal nejen rozdíl mezi sporty, ale také rozdíl u jednotlivců mezi dominantní a nedominantní dolní končetinou.



Obrázek 2: Jednotlivé fáze a správná technika provedení CMJ formou hands on (Walker 2016)

### 2. 3. 4. 3 Regenerace

Vztah mezi regenerací a únavou a jeho vliv na výkonnost přitahuje zájem sportovní vědy již řadu let. Přiměřená rovnováha mezi zátěží (tréninková a soutěžní zátěž, další životní nároky) a regenerací je pro sportovce zásadní pro dosažení trvale vysoké výkonnosti (Kellmann 2018).

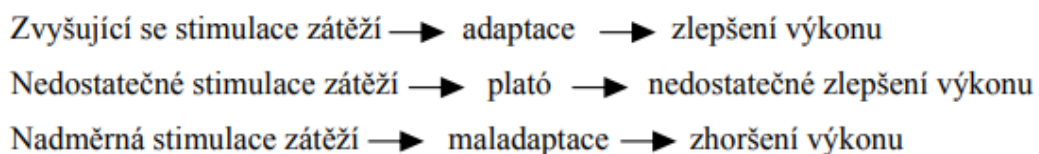
Hlavní kroky adaptačního procesu v reakci na fyzický trénink probíhají v klidové fázi. Délka období odpočinku a jeho charakteristiky určují účinnost adaptace.

V profesionálním sportu má pečlivé plánování odpočinkových období mezi více tréninky v jednom dni zásadní význam. Regeneraci během období odpočinku lze urychlit fyzioterapií, masáží, ochlazováním svalů, horkou a studenou terapií, ultrazvukem, magnetickou terapií a infuzí elektrolytů. Různé typy únavy vyžadují různě dlouhou regeneraci. Například únava spojená s anaerobně-laktátovou činností vyžaduje krátkou dobu regenerace, únavu po kvalifikačním běhu na 100 m na olympijských hrách lze překonat rychle. Anaerobně-laktátová únava, při níž může koncentrace kyseliny mléčné dosáhnout 20 mmol/l, potřebuje více času. Akumulace vedlejších produktů vzniklých metabolismem je primárně zodpovědné za anaerobní únavu. Aerobní únava však vyžaduje delší dobu regenerace, např. běh na 10 000 m nelze v rámci závodu opakovat každý den či dokonce vícekrát za den jako v případě závodů na 100 m, a to kvůli vyčerpání zásob glykogenu (Radák 2018).

## 2. 4 Periodizace tréninkového cyklu

Vedení sportovce podle správně sestaveného tréninkového plánu (dle EBM a zkušeností) přispívá k systematickému rozvoji nejen specifických dovedností pro každý sport, pokud jsou v plánu zahrnuty, ale hlavně k adaptaci organismu na fyzickou a psychickou zátěž (Bompa 2019).

Jakýkoliv cíl je trenérem vytyčen, mělo by být možné objektivně změřit, zdali se dané parametry vyvíjí a dojde, tak k ověření správné metodologie tréninkové periodizace (obrázek č. 3). Pokud dojde k chybě, může to omezit adaptaci sportovce, která může vést ke zvýšené únavě, přepínání, přetrénování a dokonce zranění (Oliva-Lozano 2022).



Obrázek 3: Schématické znázornění podstaty správného plánování zátěže (zdroj vlastní)

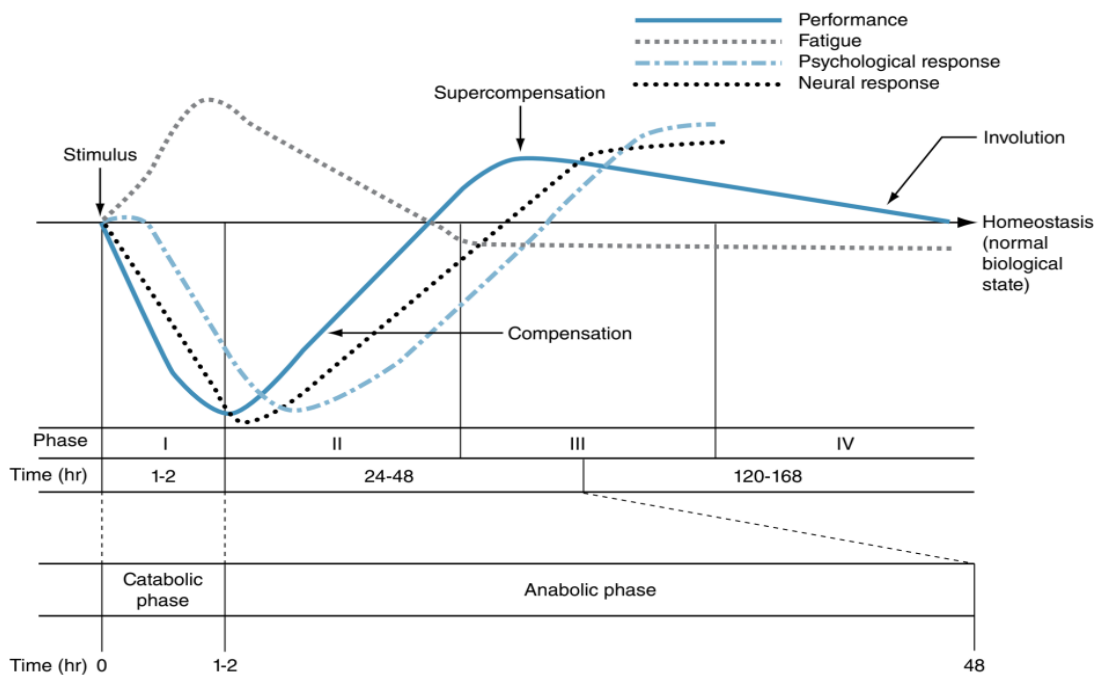
### 2. 4. 1 Adaptace a tréninkový efekt

Vliv adaptace lze obecně shrnout napříč několika systémy. Konkrétně přizpůsobením a kompenzací neuromuskulárního systému po výkonu se z dlouhodobého hlediska zvyšuje efektivita a koordinace pohybů, svalová reaktivita, mitochondriální funkce, nábor motorických jednotek. K metabolickým adaptacím řadíme zejména

posunutí prahu tolerance kyseliny mléčné v systému, efektivnější ukládání ATP a CP. Současně s tím sportovec dosahuje zlepšení kardiovaskulárního systému, a to objektivně při maximálním využití kyslíku při maximální zátěži ( $VO_2\text{Max}$ ) (Bompa 2019; Scoubeau, Carpentier 2023).

Kvalita adaptace odpovídá tréninkovému efektu a naopak. Cílem každého plánu by měla být tzv. superkompenzace, která je nejlépe dosažitelná díky Seylsově obecném syndromu adaptace (GAS). Principem je progresivní přetěžování s důsledným plánováním v rámci tréninkových mikrocyklů různé obtížnosti s proměnnou intenzitou od nízké po velmi náročnou. To dává prostor k regeneraci, dostatečné adaptaci a v ideálním případě superkompenzaci. Pokud dojde k omezení adaptace sportovce a kumulaci únavy každý následující trénink způsobí akutní fyziologickou odpověď – kumulace laktátu, vyčerpání či snížení zásob glykogenu ve svalech, redukce kreatin fosfátu a zvýšení hladiny kortizolu neboli stresového hormonu. Podmínkou úspěšné superkompenzace je obnova homeostázy a postupné zvyšování odolnosti organismu proti jejímu narušení. Homeostáza se rozruší každým tréninkem, kdy dojde ke zvýšení únavy a redukcii kapacity sportovce v daný čas. Ovšem i superkompenzace má svoji přibližnou časovou osu pro snazší grafické znázornění průběhu fyziologických procesů

(Obrázek č. 4). Nelze však striktně počítat s platností zmíněným časovým rozmezím daných fází pro každý cyklus superkompenzace (Bompa 2019; Thau 2024).



Obrázek 4: Schématické znázornění fází superkompence (Bompa 2019)

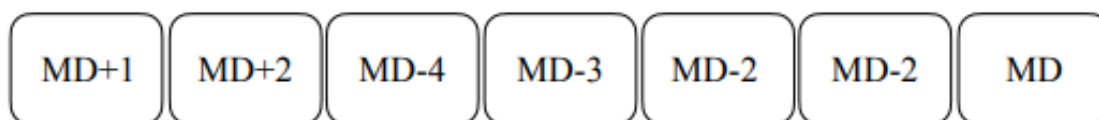
Fáze I. se označuje jako katabolická, dochází k únavě ze cvičení periferním či centrálním mechanismem se zvýšením hladin serotoninu, čímž dochází i k možnému zvýšení mentální únavy a hráč, se tak může cítit více unavený a bez motivace dále pokračovat ve cvičení. Pokud se jedná o trénink s převahou excentrických prvků může to být příčina právě DOMS (delayed onset muscle soreness). K obnovení ATP, PCr je zapotřebí zpravidla 3 až 15 minut dle náročnosti tréninku. Fáze II. je v odstupe 2 až 24 hod. od dokončení zátěže. Jedná se o období, kdy začíná kompenzační a anabolická fáze. Je důležité doplnění sacharidů pro obnovu zásob svalového glykogenu. Elevace v hladinách energetických ukazatelů může být očekávána 15 až 24 hod. od zátěže, a to z důvodu zvýšení proteinové syntézy proteinů. Dle autora Lebon et al. (2001) má vliv také zvýšení thyroïdních hormonů a sympatiku. III. a IV. fáze je obdobím psychologické superkompence a navrácení a v ideálním případě i posunutí výchozí hodnoty kapacity fyziologických procesů (Bompa 2019).

Pro objektivní měření adaptace sportovce se během roční periodizace opakují testy, které jsou nástrojem pro zjištění výkonnosti např. na začátku a konci přípravného období. Hojně využívaným testem je test YOYO IR1 (= člunkový běh s přerušovaným zotavením úroveň 1), který testuje schopnost provádět přerušované cvičení vedoucí k postupné maximální aktivaci aerobního systému na základě akustického podnětu (Bangsbo 2008).

## 2. 4. 2 Periodizace

Nutnost periodizace pramení ze znalostí fyziologie únavy a adaptace organismu jak fyzické, tak i psychické. Prvotní periodizace, kterou je nutné udělat, je periodizace roční, která zohledňuje a dělí roční období na menší úseky tzv. sub-fáze. Počáteční sub-fáze je obecná příprava, po které následuje specifická příprava. S plynulým přechodem by se tréninková zátěž měla transformovat do předzápasové a později zápasové přípravy. Po skončení zápasové sezóny se opět cyklus vrací zpět na počáteční sub-fázi, a to přechodem do obecné přípravy (Bompa 2019; Oliva-Lozano 2022).

Každý sport má specifickou periodizaci vzhledem k délce závodní či zápasové sezóny. Mikrocykly jsou týdenní tréninkové periody, které se ve většině případů počítají od dne po zápase (MD+1) až po další zápas (MD). Samozřejmě délka je rozdílná v závislosti na fázi přípravy, ve které se zrovna tým nachází v rámci sub-fáze, a na termínové soupisce zápasů (Curtis a Huggins 2020; Oliva-Lozano 2022).



Obrázek 5: Grafické znázornění posloupnosti časové osy mikrocyklu (zdroj vlastní)

Na obrázku č. 5 je znázorněna časová posloupnost. Význam jednotlivých zkratk je zde: MD+1 = 1 den po zápase, MD+2 = 2 dny po zápase, MD-5 = 5 dní před zápasem, MD-4 = 4 dny před zápasem, MD-3 = 3 dny před zápasem, MD-2 = 2 dny před zápasem, MD-1 = 1 den před zápasem, MD = den zápasu. V rámci jednotlivých dní je úkolem trenéra správně naplánovat tréninkovou zátěž a její progresi či regresi (Bompa 2019).

## 2. 5 Kompresní terapie

Kompresní (přetlaková) terapie se řadí mezi mechanoterapie, které se také označují jako presoterapie. Tlak způsobený medicínskými kompresními prostředky je závislý na určitých fyzikálních parametrech (Földi 2014; Zeman 2013).

### 2. 5. 1 Tlak

Léčebný účinek působení tlaku na lidské tělo je vysvětlen mimo jiné tím, že tekutina je nestlačitelná. Tento fakt je důležitý, protože měkké tkáně obsahují tekutinu a její uhýbání tlaku je ve tkáni omezeno. V cévách má tekutina více prostoru k přemístění



při tlakovém působení. To je vysvětlení, proč má medicínská aplikace tlaku v první řadě vliv na cévní systém (Eliška 2018).

### **2. 5. 1. 1 Kompresní tlak**

Za kompresní tlak je v medicíně označován tlak, který působí na tkáně obsahující krádiovaskulární a lymfatický systém a obecně zlepšuje udržení rovnováhy a cirkulaci tekutin v těle. Kompresi můžeme vyvolat exogenně např. bandáží či endogenně za pomoci svalů pracujícím proti odporu kompresního materiálu. Jednotkou kompresního tlaku je mm Hg (milimetry rtuťového sloupce). Pro elastický materiál lze vypočítat hodnotu kompresního tlaku pomocí Laplaceova zákona.  $D = S/R$ . Kdy kompresní tlak (D) vyplývá z poměru mezi napětím kompresního materiálu (S) a poloměrem (R) končetiny, kde došlo k aplikaci komprese. Při konstantní síle působící na válcové těleso (končetinu) je kompresní tlak nejvyšší v místě s nejmenším poloměrem. Z toho důvodu jsou kompresní materiály uzpůsobeny danému segmentu, kdy je na distálním konci končetiny vyšší napětí (S) materiálu než na bérce. Tlakový gradient musí vždy být proximální. Aby se dosáhlo stejného tlaku, musí být prominence např. kostní výběžky a místa, která naopak neprominují musí být vypolstrována, tím dojde k zachování válcovitého tvaru. Aplikace exogenní komprese může být statická nebo intermitentní, kdy by měl být tlak aplikován na celou končetinu v daný okamžik nebo by se měl zvyšovat sekvenčně s respektováním tlakového gradientu (Cameron 2018; Eliška 2018).

### **2. 5. 1. 2 Mechanismus účinku kompresní terapie**

Zúžením lumina cév vede při konstantním přítoku k urychlení proudění kapaliny. Např. samotný kompresní obvaz tedy zvyšuje rychlost venózního proudění i bez pohybu daným segmentem. Zvyšuje se také minutový lymfatický objem a rychlost proudění krve a smykové síly v krevních kapilárách. Zejména komprese dolních končetin vede k posunu tekutiny do centrálních oddílů, čímž se zvýší minutový srdeční objem a objem diurézy. Poměry proudění se také zlepšují redukcí turbulentních proudů v povrchových vénách. Jak již bylo zmíněno výše, tlakový gradient musí být vždy proximální. Toho je dosaženo za pomoci kontrolované komprimaci vén a lymfatických cév (Eliška 2018; Földi et al. 2014).

Autor Cameron, (2018) popisuje mechanismus účinku kompresní terapie na podkladě zvýšení extravaskulárního tlaku, díky kterému dojde k podpoře cirkulace

a navíc ke snížení stagnace tekutiny v intersticiálních prostorech s doporučenou preferencí intermitentní kompresní terapie s vícekomorovou aplikací.

### **2. 5. 2 Kompresní intermitentní terapie vzduchem**

Kompresse vzduchem jinak označovaná jako přístrojová lymfatická drenáž je aktuálně nejvíce využívaným typem intermitentní kompresní terapie. Aplikace je jednoduchá a je využívána ve zdravotnických a lázeňských zařízeních při léčbě lymfedému, k redukci edému (posttraumatického i metabolického), k prevenci hluboké žilní trombózy. Dále se využívá po amputacích končetin, ale také na sportovní půdě, kdy mají kluby i jednotlivci k dispozici kompresní terapii vzduchem pro regeneraci sportovců nebo dokonce u zdravých zaměstnanců, kteří jsou nuceni stát po dobu 8 hodin a více (Cameron 2018; Wittlinger 2013; Won et al. 2021).

Je nutné zmínit, že samotné aplikaci předchází manuální uvolnění hlavních lymfatických uzlin, podklíčkové a pokud je aplikace terapie na dolních končetinách je nutné uvolnit tříselné uzliny. Důvodem je prevence městnání lymfy (Wittlinger 2013).

Principem aplikace intermitentní kompresní terapie je nafukování vzduchem transportního končetinového návleku o různé velikosti a různých typů. Manžeta je obvykle rozdělena do několika komor (2 až 6), které se po nastavení programu střídavě nafukují určeným tlakem v mmHG. Je možné nastavit jednotlivé tlaky v komorách, rychlost centripetální vlny, počet a pořadí napouštěných komor. Jsou dvě základní možnosti, které se dají zvolit podle potřebného efektu. První varianta podporuje žilní otok a vlna tak začíná od úplné periferie směrem proximálním až ke kořeni končetiny. Tato varianta je aniedématózní a může být nastavena vyšší rychlost. Pro dosažení efektu na lymfatický systém a mezibuněčnou tekutinu je nutné nejdříve uvolnit kořenové lymfatické uzliny a až po uvolnění se pomocí vlny pohybuje lymfa centripetálně (Poděbradský, Poděbradská 2009).

Nutné je zmínit i kontraindikace této terapie, mezi které patří tromboflebitidy, flebotrombózy a obecně stavy, při kterých hrozí uvolnění trombu (uvádí se i varixy), aneurysma či proběhlá revaskularizace na ošetřované končetině, kardiovaskulární insuficience jiné záněty na končetině, otevřené rány a poranění kůže, mykózy, onkologická onemocnění a některé obecně známe kontraindikace fyzikální terapie (horečnaté stavy, kachexie) (Poděbradský, Poděbradská 2009; Zeman 2013).

Mezi relativní kontraindikace patří neuropatie na dané končetině, dekompenzovaná hypertenze, poškození periferního nervového systému dané oblasti. Kdy byly dokonce zaznamenány případy parézy n. peroneus po aplikaci komorové intermitentní kompresní terapie (McGrory 2000; Wright, Yacoubian 2010). Autor Cameron (2018) uvádí mimo výše zmíněné i hypoproteinemii za stavu, kdy sérum protein hladina je nižší než 2 g/dl.

### **2. 5. 2. 1 Nastavitelné parametry intermitentní kompresní terapie**

Možnost nastavení parametrů terapie se liší napříč výrobci. Čas nafukování a vyfukování jednotlivých komor je jeden z parametrů, který lze individualizovat. Pro léčbu otoků se obecně používají parametry nafukování manžety mezi 80 až 100 sekundami a čas vyfouknutí mezi 25 až 50 sekundami. Poměr by se měl ideálně pohybovat 3:1 ve prospěch času nafukování. Avšak je nutné respektovat odpověď a reakce pacienta (Cameron 2018).

Nicméně dle autora Pilch et al. (2009) není statisticky významný rozdíl v redukcí otoku za použití poměru času nafukování a vyfukování, a to konkrétně 90:90 sekundám a 45:15 sekundám. Tlak a posloupnost cyklů nafukování jednotlivých komor je pro výsledek terapie stěžejní (obrázek č. 6). Tlak se pohybuje v širokém rozsahu 30 až 120 mmHg (30 až 60 mmHg pro horní končetiny a 40 až 80 mmHg pro dolní končetiny). Vícekomorové návleky fungují na principu postupného nafukování, podle již několikrát zmiňovaného tlakového gradientu. Nejvíce distální komora se nejprve nafoukne maximálním tlakem, jehož hranice je předem nastavena, poté se zcela vyfoukne. Následně se nafoukne komora nad touto, a to nižším tlakem. Během terapie je nutné se řídit reakcí pacienta, jelikož zvyšování tlaku může způsobit bolest (Cameron 2018).

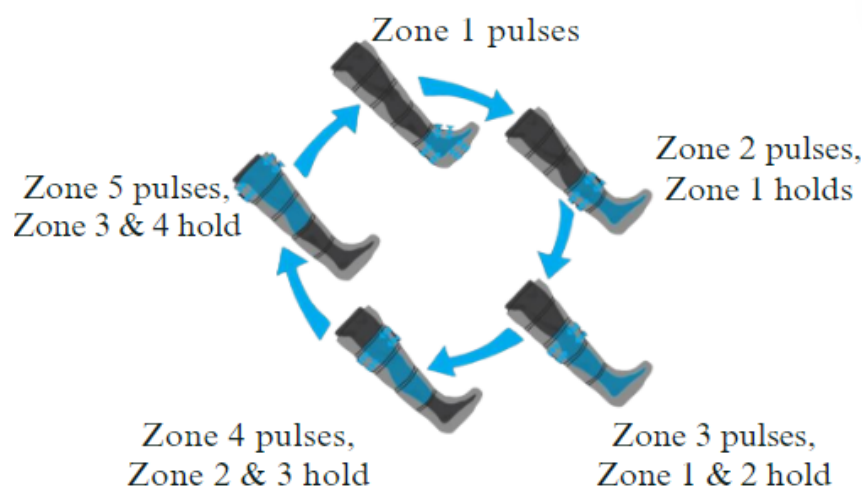
### **2. 5. 3 Kompresní intermitentní tlaková terapie po výkonu**

Trénink a závodění stresuje kosterní svalstvo, což vede k poškození svalů vyvolanému cvičením EIMD (= exercise induced muscle damage) projevující se jako delayed onset muscle soreness. Sportovci se snaží napomoci své regeneraci různými způsoby, jedním z nich je komprese. Dynamická komprese se skládá z přerušovaných pneumatických kompresních zařízení (IPC), jako je například NormaTec Recovery System. Používání zařízení IPC se mezi sportovci stává populárním, přestože důkazy

o tom, zda IPC může pomoci sportovcům při regeneraci, jsou omezené (Stedje, Armstrong 2021).

### 2. 5. 3. 1 Intermitentní kompresní terapie – Normatec 3.0

Intermitentní komprese zlepšuje okysličení tkání, mikrocirkulaci a cirkulaci intersticiální tekutiny, čímž zlepšuje výměnu měkkých tkání (kyslík, živiny) (Murgier a Cassard, 2014). Pro kompresní ošetření dolních končetin subjektů ve studii od Sandse et al. (2015) byla použita peristaltická pulzní dynamická komprese NormaTec (Newton Center, MA, USA). Peristaltická pulzní dynamická komprese se používá především ke snížení otoků, zlepšení průtoku lymfy a krve a následnému hojení ran na končetinách. Zařízení se skládá ze dvou samostatných "nohavic" s pěti obvodovými nafukovacími komorami obepínajícími nohy a pokrývajícími nohy od chodidel až po třísla. Celková délka každé nohavice je přibližně 85 cm. Jednotlivé komory mají při položení na plochu následující rozměry od chodidla k rozkroku: 17 × 17 cm, 32 × 17 cm, 37 × 17 cm, 42 × 17 cm a 42 × 17 cm. Tlaky a doby trvání nafukování peristaltických pulzních dynamických kompresních komor jsou řízeny počítačovou vzduchovou pumpou. Vše je nastavitelné pomocí aplikace Hyperice, kde lze zvolit ze sedmi předvolených programů či si individuálně nastavit tlak v komorách či některé vypnout. Individuálně lze nastavit i délka terapeutického programu. Jediná 180 cm dlouhá hadice od čerpací jednotky se rozdvouje a připojuje se zvlášť ke každému kompresnímu návleku na DK, následovaná menšími hadicemi vedoucími do každé z pěti komor na DK (Marcello et al. 2019).



Obrázek 6: Grafické znázornění fází nafukování jednotlivých zón nohavic (Shane N. Draper 2020)

## 2. 6 Termoterapie

Termoterapie je dodávání (pozitivní termoterapie) či odebírání tepla (negativní termoterapie) tepla organismu za terapeutickým účelem. Terapie teplem či chladem je podle Navrátila a kolektivu (2019) jedním z prvním terapeutických prostředků vůbec. Teplo lze odebírat kondukcí neboli vedením pomocí přikládání např. kryosáčků, konvekcí jinak řečeno prouděním, příkladem je negativní hydroterapie, kryokomory nebo iradiací a evaporací např. respirací. Míra ztráty tepla záleží na množství energie a vody. Výpočet pro evaporaci mimo jiné zohledňuje i aktuální vlhkost vzduchu, ve které je případné měření prováděno (Fabbri 2024; Poděbradský, Poděbradská 2009).

### 2. 6. 1 Termoregulace

Teplota je důležitým faktorem ovlivňujícím náš organismus, aktivitu proteinů a tekutost membrán. Organismus neustále udržuje teplotní homeostázu, a to z důvodu, že lidské tělo je homoiotermní. Pomocí termoregulace se snaží udržet téměř konstantní teplotu tělesného jádra (orgány a mozek), která je v průměru 37 °C a během dne kolísá v rozsahu 0,6 °C v závislosti na denní době a u žen na menstruačním cyklu (Navrátil et. al. 2019).

Akrální části těla, končetiny a kůže spadají v tématu termoregulace do obalu těla, který má poikiotermní vlastnosti. Úlohou obalu je izolace mezi vnějším prostředím a jádrem těla. Teplota obalu je závislá na okolní teplotě, ve které se organismus nachází. Tepelný odpor izolátoru je možné regulovat změnami prokrvení, vazokonstrikcí a vazodilatací, pomocí kůže, kde jsou uloženy periferní termoreceptory pro pozitivní (aférentní C vlákna) a negativní působení (aférentní vlákna A $\delta$ ) (Navrátil et. al. 2019; Poděbradský, Poděbradská 2009).

Teplé centrální termoreceptory, které se nacházejí v hypothalamu, míše, vnitřnostech a velkých žilách, jsou početnější než chladové. Vliv aktivace centrálních termoreceptorů je nejvýznamnější z hlediska teploty tělesného jádra a zdá se, že aktivace teplých termoreceptorů způsobuje inhibici chladových receptorů (Tansey, Johnson 2015).

#### 2. 6. 1. 1 Řízení termoregulace

Termoregulační centrum je uloženo v hypothalamu, kde jsou centrální termoreceptory řídící teplotu tělesného jádra. Do hypothalamu také přichází informace z periferních receptorů z kůže a sliznic a z míchy. Po příjmu informací je zde

vyhodnocena aktuální teplota jádra a při odchylkách od fyziologické meze (36 až 37 °C) dochází k regulaci určitými mechanismy. Účinky termoterapie obecně lze vysvětlit působením na spinální a supraspinální úrovni (Navrátil et. al. 2019).

### **2. 6. 2 Termoregulace během výkonu**

Teplota (°C) lidského tělesného jádra (T<sub>j</sub>) je regulována tak, aby byly zajištěny fyziologické tělesné funkce, přičemž každé zvýšení T<sub>j</sub> nad normální rozmezí je definováno jako hypertermie. Při cvičení je pouze 20-30 % vyprodukované energie přeměněno na mechanickou práci, zatímco 70-80 % energie je uvolněno jako teplo. Zvýšení produkce tepla vyvolané cvičením obvykle překračuje kapacitu tepelných ztrát a vede ke zvýšení T<sub>j</sub>. Předchozí studie prokázaly významné zvýšení T<sub>j</sub> u sportovců cvičících v chladném, teplém a vlhkém prostředí. Existují důkazy o únavě vyvolané cvičením nad prahovou hodnotou T<sub>j</sub> > 40 a 40,5 °C může vést k rozvoji onemocnění souvisejících s teplem, jako je vyčerpání z tepla a úpal. Kromě zvýšení T<sub>j</sub> vyvolaného cvičením zvyšuje dlouhodobé cvičení také teplotu kůže. Kombinace zvýšené teploty jádra a kůže, která vede k nižšímu gradientu jádro-kůže a je spojena se sníženým výkonem při cvičení (Bongers 2017).

Dosažení maximální kapacity systému ve zvládnutí termoregulace není limitujícím faktorem u krátkodobých rychlých cvičení, ale u vytrvalostních sportů, kdy dochází k tepelné akumulaci, a to zejména v teplém prostředí. Akumulace tepla vede k únavě až vyčerpání a v extrémních případech může vést k exitu (Marino 2008).

### **2. 6. 3 Neurofyziologické aspekty negativní termoterapie**

Lokální aplikací kryoterapie podráždí chladové periferní receptory a vyvolá tak aferentní salvu impulzů (vlákna A $\delta$ ) na spinální etáži na zadní roh míšni. Prvotní reakcí je zvýšení tonu svalu a dráždivosti gamareceptorů. Následuje však časoprostorová sumace informací a excitace inhibičních interneuronů a selektivní útlum  $\alpha$ -motoneuronů předních rohů míšních, které se podílejí na vzniku a udržení reflexní změny. Pokud byl prvotně přítomen svalový hypertonus výsledkem je snížení dráždivosti buněk na předních rozích míšních a tím dojde ke snížení svalového tonu – eutonizaci. Prvotní reakcí je vazokonstrikce, která je direktivně spojena se zpomalením metabolismu v ochlazované tkáni. Organismus na tuto skutečnost zareaguje krátkodobou vazodilatací (otevřením prekapilárních svěračů), která vede k následné hyperémii a prohřátí tkáně. Poté opět následuje vazokonstrikce (Poděbradský, Poděbradská 2009).

Při vazokonstrikci, je krev odváděna z povrchu kůže hlubšími žilami, čímž dochází k uchování tepla a rozšíření gradientu mezi teplotou jádra a periferie. V reakci na chlad působí sympatické vazokonstrikční nervy především na  $\alpha$ -noradrenergní receptory, které způsobují kontrakci hladkého svalstva cév a vazokonstrikci (Burnstock 2013).

Po ukončení intervence by měla za správných podmínek aplikace následovat reaktivní hyperémie, která trvá déle než samotná aplikace chladu. Pokud se nedostaví, byla aplikace chybná. Je nutné zmínit, že před samotnou intervencí je v případě potřeby, předebrát jedince. K dalším efektům, kterých lze dosáhnout negativní termoterapií je analgezie, která v tomto případě funguje na podkladě vylučování endorfinů, jako obranná reakce organismu na chlad (Poděbradský, Poděbradská 2009).

#### **2. 6. 4 Intervence chladem po výkonu**

V kontextu zotavení po fyzické zátěži vyvolává expozice celotělové kryoterapie snížení svalové teploty, která může snížit aktivitu svalových enzymů, metabolismus, zánět a sekundární degradaci po hypoxii (snížení problémů s ischemií/reperfuzí), což může napomoci zotavení. Během vazokonstrikce dochází k silné aktivaci sympatického systému doprovázené uvolňováním noradrenalinu. Je známo, že noradrenalin má vliv na bolest, a to může vysvětlit, jak může WBC přispět ke zmírnění příznaků bolesti. Vliv mohou mít i další sloučeniny, například endorfiny. Kromě těchto mechanismů snižuje kryogenní teplota rychlost vedení senzoryckých nervových vláken a impuls v pomalu vedoucích vláknech C, které vyřazují senzorycké receptory i jejich spojení s proprioceptory. Kromě toho se zdá, že dochází ke snížení produkce prozánětlivých a oxidačních látek, zatímco protizánětlivé a antioxidační sloučeniny jsou produkovány ve větším množství (Bouzigon et al. 2021; Bouzigon et al. 2016).

V analýze od autorů Hohenauer et al. (2015) byly účinky ochlazení rozděleny na subjektivní a objektivní výsledky zotavení. Bylo zjištěno, že ochlazení aplikované bezprostředně po cvičení zlepšuje subjektivní zotavení, protože snižuje příznaky opožděného nástupu svalové bolesti po 24 a 96 hodinách zotavení. Naproti tomu nebyly nalezeny žádné důkazy o tom, že by ochlazení mělo vliv na objektivní výsledky zotavení, jako je krevní laktát, kreatinkináza a koncentrace c-reaktivního proteinu. O účincích kryoterapie jako strategie akutní regenerace, měřitelné výkonnostními parametry ve sportu, se diskutuje z hlediska periodizace a dopadu po tréninku. Obvykle se používá

chlazení s cílem zmírnit příznaky únavy a zvýšit úroveň výkonnosti. Nejednoznačné důkazy však neumožňují upevnit chápání účinků kryoterapie na svalové funkce ve vztahu k optimálnímu zotavení prostřednictvím ukazatelů výkonnosti. Nevhodná periodizace nebo volba způsobu kryoterapie může negativně ovlivnit adaptaci, která by měla nastat po tréninku. O délce aplikace negativní terapie panují další neshody, a tak se nedaří dosáhnout jednotné odpovědi ohledně optimálních protokolů pro zotavení pomocí kryoterapie. Mnoho studií informuje o použití CWI (cold water immersion) na relevantní parametry fotbalového výkonu. Jeden z účinků CWI uvádí i autoři Wilcock et al. (2006), podle kterých ponoření do studené vody minimalizuje svalové otoky a poskytuje analgetické účinky po cvičení. Nicméně totéž nelze uvést u mnoha současných kryo-kompresních zařízení, jako je Game Ready® (Hohenauer 2015).

Autoři studie Mawhinney et al. (2020), dle jejich slov, jako první zjistili zajímavá fakta o perfúzi m. quadriceps femoris při různých teplotách CWI. Pro zvýšení perfúze hlubokých svalových struktur (m. vastus intermedius) je zapotřebí teploty 8 °C, zatímco teplota 15 °C byla jimi označena na omezující pro prokrvení povrchových struktur (m. rectus femoris) m. quadriceps femoris.

## **2. 7 Souhrn teoretických poznatků**

Ve fotbalovém prostředí jsou kladeny vysoké nároky na výkon, ať už se jedná o profesionální, semi-profesionální či výkonnostní úroveň klubů. Edukace trenérů napříč fotbalovým prostředím přispěla k maximalizaci a optimalizaci zotavovacích fází v rámci mikrocyklické tréninkové periodizace (Bompa 2019).

Dostatečná adaptace hráče na zátěž je klíčová pro výkonnostní růst. Komerčně protěžovaným nástrojem pro podporu regenerace a snížení svalové únavy po fyzické zátěži je intermitentní pneumtická komprese. Ta si získala oblibu u světových, ale i českých týmů, ačkoliv je evidence o účinnosti této metody sporná (Cochrane et al. 2013; Heapy et al. 2018; Hoffman et al. 2016; Won et al. 2021).

Poměrně novým prostředkem podpory regenerace je Game Ready. Jedná se o přístroj kombinující právě kompresní terapii s terapií negativně termoterapeutickou. Na základě teoretických poznatků věnujících se fyziologii kosterní svaloviny, lymfatickému systému, vlivu zátěže na organismus, periodizace tréninku a zejména kompresní a negativní termoterapii, lze vyvodit možné účinky na snížení svalové únavy po fyzické zátěži. Navíc právě kompresní a kryo-kompresní intermitentní terapie je využívána



i Českou fotbalovou reprezentací. Evidence o využití negativní termoterapie je rozsáhlá, nicméně je nedostatek poznatků o efektu kombinace kompresní a negativní termoterapie aplikované naráz (Bellon, Michelet 2019; Bouzigon, Dupuy 2021; De Bie et al. 2021; Murgier, Cassard 2014).

Tento fakt mě přivedl k myšlence této pilotní studie (n=21) měřené na aktivních hráčích SK Aritma Praha ve věkovém rozpětí 18 až 22 let.

## **3 Metodologie práce**

### **3.1 Cíle**

Prvním cílem této práce bylo zjistit, jestli a jaký vliv má kompresní intermitentní terapie na parametry svalové únavy u fotbalistů. Pro dosažení tohoto cíle byly aplikovány dva typy kompresní intermitentní terapie. Kompresní intermitentní terapie byla aplikována pomocí přístroje od výrobce Normatec 3.0 a kryo-kompresní terapie byla aplikována pomocí přístroje Game Ready. Druhým cílem bylo určit změny v parametrech svalové únavy po intervenci přístrojem Normatec 3.0, Game Ready a určit, zdali by bylo možné některou označit za efektivnější pro změnu parametrů.

### **3.2 Výzkumné otázky**

Výzkumné otázky vycházejí z cílů této pilotní studie. První otázka se týká vlivu intervencí v daných skupinách. Otázka č. 2 vychází z porovnání vlivu intervencí porovnaném mezi skupinami navzájem. Poslední otázka byla sestavena za účelem vyzkoumání okamžitého vlivu intervencí na parametry svalové únavy.

- 1) Lze vysledovat změny v rozdílech CMJ po 24 hodinovém přeměření v rámci kontrolní a jednotlivých intervenčních skupin?
- 2) Lze vysledovat změny v rozdílech CMJ po 24 hodinovém přeměření napříč kontrolní a intervenčních skupin?
- 3) Jaký vliv bude mít kompresní a kryo-kompresní intervence na hodnoty CMJ naměřené bezprostředně po terapii?

### **3.3 Hypotézy**

První tři uvedené hypotézy byly stanoveny pro zjištění změn hodnot CMJ po 24hod. rozestupu v rámci jednotlivých skupin. Hypotézy č. 3 až 6. byly stanoveny pro zjištění změn hodnot CMJ po 24hod. rozestupu napříč jednotlivými skupinami navzájem. Poslední hypotéze (č. 7) byla koncipována pro zjištění okamžitých změn hodnot CMJ po aplikaci intervenčních protokolů. Hladina statistické významnosti všech hypotéz byla určena na  $\alpha = 0,05$ .

**H01:** U kontrolní skupiny nebyla zaznamenána změna v parametrech CMJ po porovnání hodnot před YOYO IR1 vůči hodnotám po 24 hodinách od intervence.

**H1:** U kontrolní skupiny byla zaznamenána změna v parametrech CMJ po porovnání hodnot před YOYO IR1 vůči hodnotám po 24 hodinách od intervence.

**H02:** U intervenční skupiny s kompresní terapií byla zaznamenána změna v parametrech CMJ po porovnání hodnot před YOYO IR1 vůči hodnotám po 24 hodinách od intervence.

**H2:** U intervenční skupiny s kompresní terapií nebyla zaznamenána změna v parametrech CMJ po porovnání hodnot před YOYO IR1 vůči hodnotám po 24 hodinách od intervence.

**H03:** U intervenční skupiny s kryo-kompresní terapií byla zaznamenána změna v parametrech CMJ po porovnání hodnot před YOYO IR1 vůči hodnotám po 24 hodinách od intervence.

**H3:** U intervenční skupiny s kryo-kompresní terapií nebyla zaznamenána změna v parametrech CMJ po porovnání hodnot před YOYO IR1 vůči hodnotám po 24 hodinách od intervence.

**H04:** Po aplikaci kompresní intervence přístrojem Normatec 3.0 byla zaznamenána změna hodnot CMJ po 24 hod. oproti hodnotám kontrolní skupiny.

**H4:** Po aplikaci kompresní intervence přístrojem Normatec 3.0 nebyla zaznamenána změna hodnot CMJ po 24 hod. oproti hodnotám kontrolní skupiny.

**H05:** Po aplikaci kryo-kompresní intervence přístrojem Game Ready byla zaznamenána změna hodnot CMJ po 24 hod. oproti hodnotám kontrolní skupiny.

**H5:** Po aplikaci kryo-kompresní intervence přístrojem Game Ready nebyla zaznamenána změna hodnot CMJ po 24 hod. oproti hodnotám kontrolní skupiny.

**H06:** Po aplikaci kompresní intervence přístrojem Normatec 3.0 byla zaznamenána změna hodnot CMJ po 24 hod. oproti hodnotám kryo-kompresní skupiny.

**H6:** Po aplikaci kompresní intervence přístrojem Normatec 3.0 nebyla zaznamenána změna hodnot CMJ po 24 hod. oproti hodnotám kryo-kompresní skupiny.

**H07:** Po aplikaci kryo-kompresní intervence přístrojem Game Ready byla zaznamenána okamžitá změna hodnot CMJ oproti okamžitým hodnotám kompresní skupiny.

**H7:** Po aplikaci kryo-kompresní intervence přístrojem Game Ready nebyla zaznamenána okamžitá změna hodnot CMJ oproti okamžitým hodnotám kompresní skupiny.

### **3.4 Pracovní úkoly**

- 1) Zhotovení podrobné rešerše odborné literatury a článků týkajících se dané tematiky
- 2) Plánování a zajištění vybavení pro provedení experimentu
- 3) Vypracování sousledného přehledu průběhu pilotní studie a sběru dat specifické pro každou skupinu a následné představení potencionálním probandům
- 4) Oslovení a zajištění předem stanoveného vzorku probandů
- 5) Seznámit se s přístroji Normatec 3.0 a Game Ready sloužící k intermitentní kompresní terapii
- 6) Zajistit vhodné a podmínky splňující místo pro testování
- 7) Organizace měření a sběr dat od vzorku probandů
- 8) Statistické zpracování výsledků a ověření jednotlivých hypotéz
- 9) Určení klinické významnosti jednotlivých hypotéz

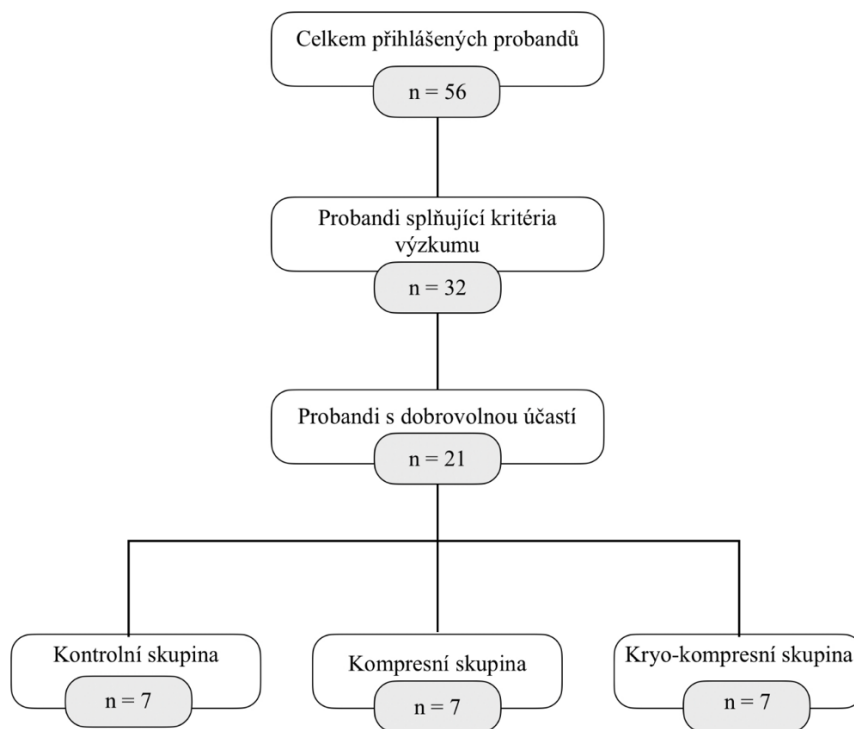
## **4 Metodika práce**

### **4.1 Zpracování teoretických východisek**

Tato diplomová práce je rozdělena na dvě hlavní části, a to na teoretickou a praktickou. V teoretické části je detailně rozebrána problematika svalové kontrakce, únavy, fyziologie svalové kontrakce, termoterapie a intermitentní kompresní terapie. V druhé části je prezentována metodika a metodologie studie, výsledky a diskuze nad výsledky v kombinaci s dosavadními poznatky ze studií. Ke zpracování práce byly použity dostupné domácí i zahraniční zdroje. Vyhledávání všech použitých zdrojů bylo provedeno pomocí vědeckých databází Pub Med, Google Scholar, Elsevier, Web of Science, apod. Citace odborné literatury byla řízena dle citační normy ČSN ISO690:2022.

### **4.2 Výzkumný soubor**

Výzkum v rámci této diplomové práce byl schválen etickou komisí ze dne 14.12.2023 pod evidenčním číslem 092/2023 (viz Příloha č. 1). Pro získání potřebného počtu probandů bylo využito osobních kontaktů z fotbalového prostředí pražských klubů. Po telefonickém kontaktování trenérů se přihlásily celkem dva pražské týmy. Z praktického hlediska byl do studie zařazen klub SK Aritma Praha se sídlem v blízkosti FTVS UK. Celkem měly zájem tři věkové skupiny hráčů fotbalu, u kterých by bylo možné potencionálně provést pilotní studii. Nicméně jedna věková kategorie byla U14, čímž nesplnila kritéria výběru minimálního věku. Zbylé tři kategorie splňovaly kritérium věku probandů, jelikož se jednalo o U19, muži A a B tým SK Aritma Praha. Z celkového počtu 56 potencionálních probandů zbylo po kontrole výlučných kritérií 32 možných probandů splňujících kritéria výběru. Po záměrném výběru z vyhovujících probandů souhlasilo se zařazením do pilotní studie 21 hráčů. Těm byla náhodně přiřazena intervence, čímž došlo k rozdělení do třech skupin po sedmi hráčích. Shrnutí znázorňuje diagram na obrázku č. 7.



Obrázek 7 Diagram postupu výběru probandů (zdroj: vlastní)

Kritéria pro zařazení do experimentální skupiny:

- Věk 15 až 25 let
- Aktivně hrající hráč fotbalu registrovaný u FAČR

Věkové rozpětí 15 až 25 bylo zvoleno z důvodu náročnější mikrocyklické periodizace s vyšším počtem tréninkových jednotek, popřípadě zápasů během mikrocyklu. Tím se zvyšuje nejen fyzická kondice hráčů, ale také nároky na adaptaci a zotavení hráčů.

Kritéria pro vyřazení z experimentu:

- Zranění, ke kterému došlo méně než 4 měsíce před výzkumem
- Diagnostikované onemocnění lymfatického systému
- Polyneuropatie
- Nemoc či zánětlivé onemocnění v době výzkumu a 4 týdny před výzkumem
- Porucha kožního krytu na dolních končetinách
- Intolerance chladu
- Záněty žil a jiná onemocnění kardiovaskulárního systému

## 4.3 Použité metody

### 4.3.1 Testování CMJ

Pro Counter Movement Jump testování probandů byl zvolen plně mobilní přístroj OptoJump Next, který se skládá ze dvou testovacích lišt Tx a Px 30. Průběh CMJ testování pomocí OptoJumu Next byl následující. Probandi byli nejprve seznámeni se správnou technikou provedení CMJ s názornou ukázkou (níže uvedený obrázek č. 8). Rovněž byli instruováni, aby zaujali polohu ve stoji se symetricky umístěnými chodidly vedle sebe s individuální šířkou opěrné báze dle tělesných proporcí a preferencí. Pro tuto studii byla zvolena varianta CMJ - „hands on“, tudíž byla určena poloha rukou na spina iliaca anterior superior, a to po dobu celého testování. Pro iniciaci byla probandem provedena flexe dolní končetiny v kolenních kloubech na úhel s maximem 90°. Tento proces by se měl odehrát, co nejrychleji. Po odrazu a při letové fázi bylo nutné, zachování extenčního postavení v kolenních kloubech. Pokyn pro probandy zněl: „Udělejte maximální možný výskok a dopad na obě DK bez ztráty rovnováhy. Po celou dobu bylo nutné dohlížet na kvalitu provedení a dodržení pravidel tak, aby byly pokusy uznány za validní. Proband má 3 pokusy s odpočinkem na 45 s mezi každým výskokem.

K měření CMJ je použit systém OptoJump Next, u kterého byla prokázána vynikající spolehlivost test-retest (ICC 0,982-0,989) pro hodnocení CMJ v terénu. Podle nynější literatury je nejpřesnější ve srovnání s jinými přenosnými přístroji využívanými k měření (Alexander et. al. 2022).



Obrázek 8: Fáze CMJ znázorňující správné technické provedení (zdroj: vlastní)

### 4.3.2 YOYO IR1

Test YOYO IR byl zaveden za účelem měření schopnosti opakovaně provádět intenzivní cvičení, včetně potenciálu rychle se zotavit z takového cvičení se zvláštním zaměřením na intermitentní sporty, jako je fotbal nebo basketbal (Krustrup et al. 2003).

Tempo je řízeno automatickým akustickým zařízením, které signalizuje start, otočku a cíl, ale je nutné, aby na test dohlížel zkušený personál. Výkon YOYO IR1 je definován jako maximální uběhnutá vzdálenost (m), které je dosaženo, když účastníci dvakrát nedosáhli včas cílové čáry nebo test přerušili z důvodu vyčerpání (Schmitz et al. 2018).

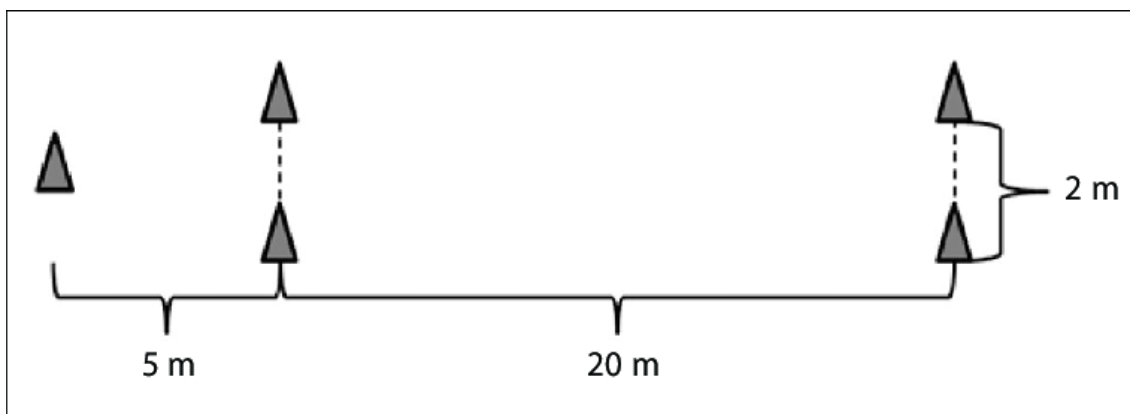
Detailně popsáno, test YOYO s přerušovanou regenerací úrovně 1 (YOYO IR1) je koncipován následovně. Protokol se skládá z 2 x 20 m běhu tam a zpět mezi dvěma liniemi s postupně se zvyšující rychlostí, která byla kontrolována zvukovými signály. Když se účastníkům dvakrát nepodařilo dosáhnout příslušné čáry včas, byla zaznamenána uražená vzdálenost, která představovala výsledek testu. Každý běh byl proložen 10 sekundovým aktivním odpočinkem, který se skládal z 2 x 5 m běhu (Castillo et. al. 2017). Schématický obrázek č. 9 znázorňující připravená rozmezí je přiložen níže.

Rychlost začíná v rozmezí 10-13 km/h (0-160 m), po nichž následuje 7 běhů rychlostí 13,5-14 km/h (160-440 m), přičemž se pokračuje postupným zvyšováním rychlosti o 0,5 km/h po každých 8 běžeckých úsecích až do vyčerpání (Krustrup et al. 2003).

U testu YOYO IR1 byla zjištěna významná korelace s během o vysoké intenzitě ( $>15$  km-h<sup>-1</sup>) během fotbalového utkání  $r = 0,71$  ( $n = 18$ , elitní fotbalisté) a korelace s vysoce intenzivní aktivitou a celkovou vzdáleností uběhnutou během fotbalového utkání byla  $r = 0,77$ , resp.  $r = 0,65$  ( $n = 19$ , mladí fotbalisté, věk ~14 let). U testu YOYO IR1 byla zjištěna významná korelace s  $VO_2\text{max}$  stanovenou v laboratorních podmínkách  $r = 0,71$  ( $n = 15$ , elitní fotbalisté) (Krustrup 2003).

Toto zjištění bylo potvrzeno zprávou o významné korelaci výkonu v testu YOYO IR1 a laboratorního výkonu v testu  $VO_2\text{max}$  u rekreačně aktivních osob ( $r = 0,87$ ,  $n = 19$ ) (Thomas 2006). Autoři Rebelo et al. (2014) doporučují absolvování obou testů (YOYO IR1 i  $VO_2\text{max}$  pro kompletní vzhled na atletovu výkonnost.





Obrázek 9: Znárodnění YOYO IR1 testování (Lizana et al. 2014)

### 4. 3. 3 Kryo-kompresní terapie

U mnoha současných kryo-kompresních zařízení, jako je například Game Ready® (CoolSystems, Inc.). Není jasně stanovená shoda ohledně optimálních protokolů, pokud jde o periodizaci aplikace chlazení pomocí kryo-kompresních zařízení (Alexander et al. 2022). Kryo-kompresní terapie s kontinuálním průtokem byla aplikována pomocí Game Ready System® (GRS; CoolSystems Alameda, Kalifornie) prostřednictvím anatomicky navržených obalů poskytuje GRS současně nastavitelnou kontinuální průtokovou kryoterapii s přerušovanou kompresí. Přístroj lze nastavit na žádný tlak, nízký tlak 5-15 mmHg, střední tlak 5-55 mmHg a vysoký tlak 5-75 mmHg.

Pro tuto pilotní studii byla využita bilaterální aplikace návrků od třísel po akra dolních končetin připojené k základní řídicí jednotce Game Ready (níže uvedený obrázek č. 10). Zvolený tlak byl na nejvyšší možné úrovni, což odpovídá rozmezí 5–75 mmHG z toho důvodu, že tlak úrovně č. 1 je využíván u prvních dní postoperačních stavů a úroveň č. 2 je používána raných fázích rekonvalescence. Na základě parametrů ze studií (Alexander et al., 2021; Heapy et al., 2018) byl zvolen nejvyšší možný tlak, aby byla intervence stejná jako kompresní. Doba aplikace byla nastavena na 30 minut kryo-kompresí o teplotě 0 °C pro zajištění dostatečného pocitu chladu během terapie, kdy je cirkulací přes kalhoty do základní jednotky teplota vody postupně navyšována skrze přenos tepla z organismu.



Obrázek 10: Fotografie základní jednotky, zásobníku na led a nohavic (Zdroj: Game Ready 2024)

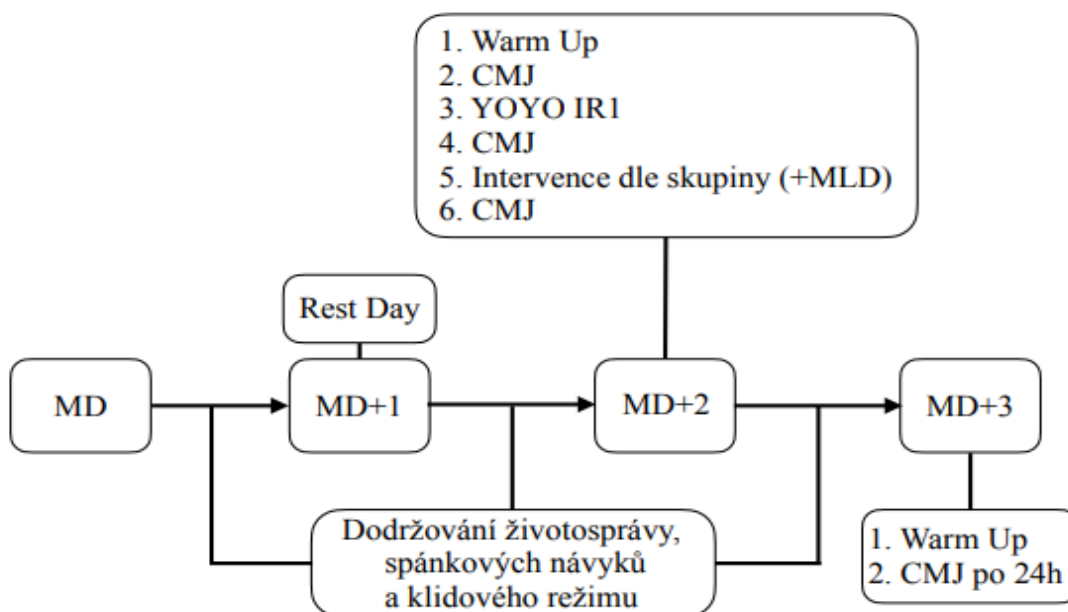
#### 4. 3. 4 Popis protokolu pro intervenci přístrojem NormaTec 3.0

Pro intervenci byl použit program „Post run recovery“, kdy se upraví délka trvání na 30 minut. Tlaky v jednotlivých zónách byly následující. V první zóně (oblast hlezenního kloubu a nohy) bude tlak 75 mmHg, v druhé zóně (bérec) byl tlak snížen na 65 mmHg, třetí zóna (oblast kolem kolenního kloubu) byla nastavena na 55 mmHg. Čtvrtá zóna (od apexu patelly do zhruba ½ femuru) byla pod tlakem 55 mmHg a poslední zóna (přibližně od ½ femuru po tříselnou krajinu) 55 mmHg. Každá fáze nafukování trvala po dobu 30 s.

#### 4. 3. 5 Sběr dat

Realizace studie proběhla v prostorách Katedry fyzioterapie FTVS UK a na atletickém stadionu v areálu FTVS UK. Zúčastnilo se 21 fotbalistů výkonnostní úrovně ve věku od 18 do 22 let. Hráči byli z týmu U19, muži A a B pražského klubu SK Artima Praha. Studie proběhla MD+1 (1 den po zápasu) a začala slovním odebráním osobní anamnézy skládající se z iniciál, roku narození probandů, výšky, váhy, nynějšího onemocnění a osobní anamnézy pro kontrolu, zda splňuje kritéria výběru. Po odběru těchto základních popisných dat proběhlo seznámení probandů s průběhem studie a podpis informovaného souhlasu. Poté pokračovala studie rozehrátím, takzvanou warm-up fází (obrázek č. 11). Tato část trvala 15 minut, kdy se probandi individuálně dynamicky rozevřeli s pokyny k přípravě na rychlostní cvičení. Následně byla odebrána data za pomoci OptoJumpu Next s protokolem Counter Movement Jump (CMJ) formou hands on, pro minimalizaci výchylek COM při měření způsobenou případným švihem rukama. CMJ je validní a reliabilní ukazatel neuromuskulární pro svalovou sílu dolních končetin. Každý proband absolvoval v rámci jednoho měření CMJ 3 pokusy. Vždy se

tedy opakovalo 3x CMJ se 45 s pauzami mezi pokusy. OptoJumpem Next byly naměřeny tyto proměnné parametry – výška výskoku, čas letové fáze výskoku. Data byla okamžitě zapsána do předem připravené tabulky z programu Microsoft Excel 2019. Poté byl probandy absolvován protokol, YOYO IR 1 testování. Toto testování proběhlo na atletickém stadionu v areálu FTVS. Test byl sestaven z 20 m úseku vyznačeného kužely. Bylo absolvováno vždy 2 x 20 m běhu tam a zpět mezi dvěma liniemi s postupně se zvyšující rychlostí, která byla kontrolována zvukovými signály. Každých uběhnutých 40 m bylo proloženo 10 sekundami snížení rychlosti, s nutností uběhnout 10 m (2 x 5 m běhu tam a zpět na startovací linii 20 m území). Po dvakrát za sebou neúspěšném doběhnutí na čáru 20m území byl test ukončen. Za neúspěch bylo považováno nedodržení časového limitu daného zvukovou signalizací. Uběhnutá vzdálenost byla zaznamenána. Pro tuto studii byl test YOYO IR1 zařazen pouze z důvodu dosažení maximální únavy fotbalisty. Samotná vzdálenost byla pro tento výzkum irelevantní. Nicméně tato data byla poskytnuta probandům a trenérům jako hodnotící parametr fyzické připravenosti hráčů. Poté byla přesunuta realizace studie na místo měření CMJ, kde byly provedeny tři pokusy CMJ opět formou „hands on“ s 45 s pauzami mezi jednotlivými výskoky. Poté byla probandům náhodně přiřazena intervence a byly tak rozděleny do jedné ze tří skupin (kontrolní n=7, kompresní n=7, kryo-kompresní n=7). Pro kontrolní skupinu byl určen protokol 30 min. pasivního odpočinku vleže na lehátku. Pro kompresní skupinu byla určena 30 min. bilaterální kompresní intermitentní terapie dolních končetin, aplikovaná přístrojem Normatec 3.0 s nastaveným tlakem 5 až 75 mmHG. Kryo-kompresní skupina měla protokol nastavený na 30 min. bilaterální kryo-kompresní intermitentní terapie dolních končetin pomocí přístroje Game Ready s tlakem 5 až 75 mmHg a teplotou vody 0 °C. Probandům intervenčních skupin byla aplikována před-terapie pomocí MLD od oblasti tříselných uzlin až po popliteální uzliny. Všechny tři skupiny se podrobily dané intervenci vleže na lehátku. Po uplynutí doby intervence se probandi znovu zúčastnili CMJ testování (3 pokusy s 45 s pauzami). Pro zjištění vlivu na parametry neuromuskulární únavy a efektivity kompenzace daných terapií bylo nutné opakovat další CMJ měření po 24 hodinách od provedení intervence, kterému předcházelo 15 minut warm-up fáze stejná jako první den. Probandi byli vyzváni, aby během 24 hodinového rozestupu neprováděli žádné sportovní aktivity, neměnili své spánkové a stravovací návyky pro zajištění maximální totožnosti podmínek pro regeneraci napříč probandy a skupinami.



Obrázek 11: Metodika sběru dat na časové ose

#### 4. 3. 5. 1 Časový rozvrh

Časová náročnost účasti v pilotní studii byla první den kolem 1 hodiny 30 minut. Druhý den byla metodika dokončena za 20 minut. V případě, že by byl testován pouze jeden proband v danou chvíli. Warm-up trval 15 minut, následné každé testování CMJ trvalo zhruba 5 minut i s pauzami a správnou konfigurací údajů každého z probandů. YOYO IR 1 testování mělo individuální dobu trvání, od intervalu 15 až 35 minut dle výkonnosti. Intervence proběhla po dobu 30 minut u všech tří skupin.

#### 4. 3. 6 Analýza a zpracování dat

Diplomová práce je vypracována v aplikaci Microsoft Office Word 2019. K zobrazení naměřených hodnot CMJ sloužil softwarový systém OptoJump Next. Jednotlivé výsledky z každého pokusu CMJ probanda byly zaznamenány na zařízení iPad a následně přeneseny do programu Microsoft Excel 2019, ve kterém byly výsledky a probandi rozděleni do skupin a přehledně zpracovány tabulky s výslednými průměry hodnot CMJ. Zkompletované výsledky byly následně vyhodnoceny deskriptivní statistikou pro charakterizaci výzkumného souboru. Nasbíraná data byla vyhodnocena v programu *Statistica Pro* ve spolupráci s externím statistikem.

V programu *Statistica Pro* byl jako první proveden Shapiro-Wilk test normality (kapitola příloh 12.3, tabulka č. 17) pro zjištění normální či nenormálního rozložení dat pro každou z hypotéz. Hladina statistické významnosti byla stanovena na  $\alpha = 0,05$ . Dále

byly provedeny parametrické a neparametrické testy na základě výsledku normality dat (Alexander et al. 2021).

Hypotéza č. 1 a 2 byla testována pomocí párového T-testu. Hypotéza č. 3 a byla testována párovým Wilcoxonovým testem. Data hypotéz č. 4,5,6 byly statisticky vyhodnoceny T-testem dvou nezávislých výběrů. Statistická významnost 7. hypotézy byla stanovena Mann-Whitney testem. Mimo jednotlivé statistické testy byl proveden test Cohenovo d, pro stanovení klinické významnosti jednotlivých hypotéz. Interpretace tohoto testu je provedena podle publikace autora Soukup (2013).

## 5 Výsledky

### 5.1 Výzkumný soubor

Po telefonickém kontaktování fotbalových trenérů daných týmu se přihlásily celkem 3 věkové skupiny hráčů fotbalu, u kterých bylo možné potencionálně provést pilotní studii. Nicméně jedna věková kategorie byla U14, čímž nesplnila kritéria výběru. Zbylé tři věkové kategorie splňovaly kritérium věku probandů, jelikož se jednalo o U19, muži A a B tým SK Aritma Praha. Z celkového počtu 56 potencionálních probandů zbylo (po vyloučení hráčů U14) 32 potencionálních probandů, ze kterých se dobrovolně zúčastnilo 21 hráčů.

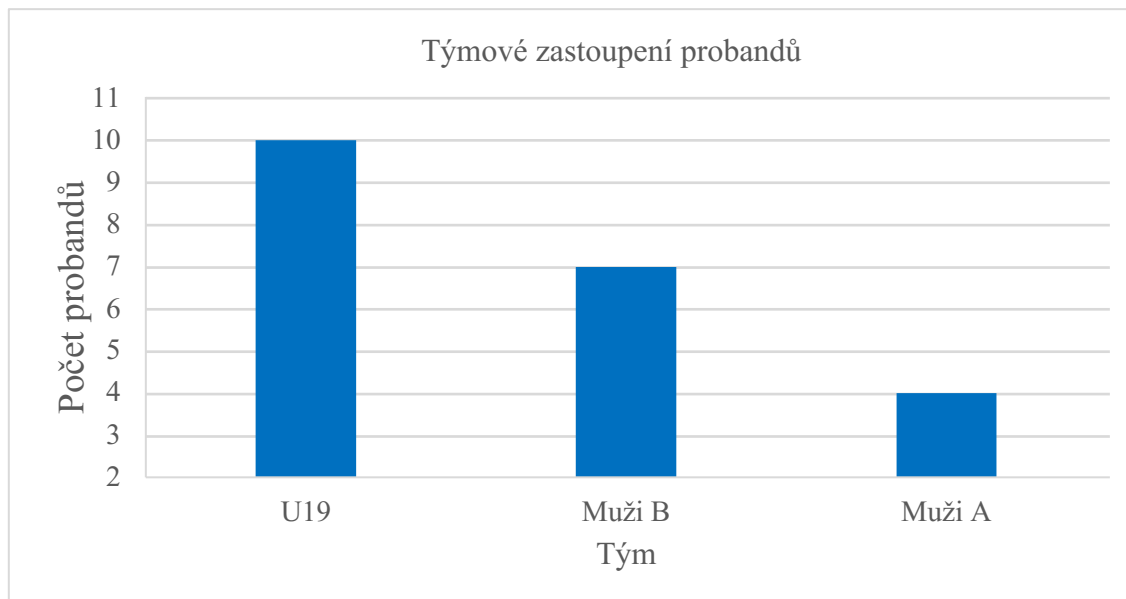
Tabulka 1: Popisná statistika výzkumného souboru (n=21)

Celkem probandů	21
Skupiny	3
Probandů ve skupině	7
Pohlaví muž/žena	21/0
Věk	19,8 ± 1,33
Výška [cm]	176,1 ± 3,6
Váha [kg]	72,8 ± 4
BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	23,5 ± 1,3
U19	10
Muži B	7
Muži A	4

Legenda: data věk, výška, váha, BMI představují průměrnou hodnotu ± směrodatná odchylka (SD).

Studie byla koncipována pro hráče mužského pohlaví. Zastoupení je tedy 100 %. Hráči, kteří byli zařazeni v rámci výzkumu jsou ve věkovém rozpětí od 18 do 22 let s průměrným věkem 19,8 ± 1,33 let. Nejvíce hráčů je z věkové kategorie U19, která zahrnuje hráče ve věku 18 a 19 let. Kategorie mužů A i B odpovídá probandům ve věku 20 až 22 let. Podrobný popis probandů je ve výše uvedené tabulce č. 1.

Graf 1: Týmové zastoupení jednotlivých probandů v rámci výzkumu (n=21)



Nejvíce hráčů, kteří se dobrovolně zapojili do pilotní studie bylo z věkové kategorie a týmu U19, kdy se zúčastnilo deset fotbalistů (výše uvedený graf č. 1). Věkově jsou hráči v rozmezí 18 až 19 let. Z týmu muži B se podrobilo experimentu sedm hráčů a z týmu muži A se zúčastnili čtyři hráči. Pro mužskou kategorii se v rámci této studie pohybuje věk od 20 do 22 let.

Tabulka 2: Popisná data probandů jednotlivých skupin (n=21)

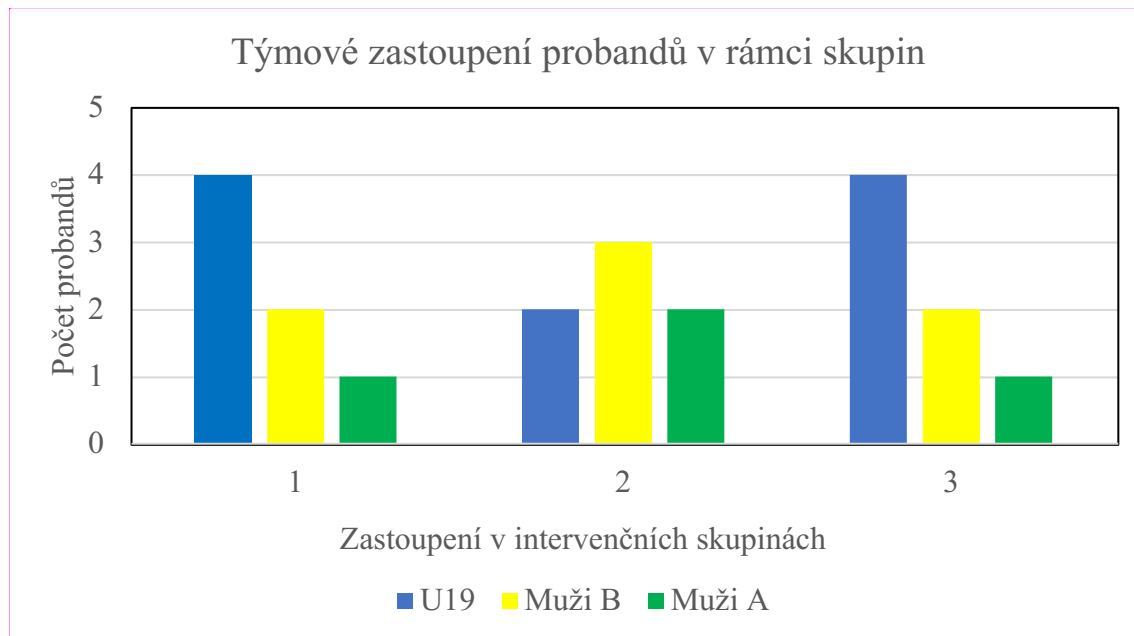
	Kontrolní sk.	Kompresní sk.	Kryo-kompresní sk.
Celkem probandů	7	7	7
Věk	19,57 ± 1,4	20, 14 ± 1,25	19,71 ± 1,28
Výška [cm]	175,99 ± 3,43	177,23 ± 3,07	174,96 ± 3,77
Váha [kg]	71,87 ± 3,14	72,43 ± 4,85	74,20 ± 3,24
BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	23,23 ± 1,4	23,05 ± 1,26	24,25 ± 1
U19	4	2	4
Muži B	2	3	2
Muži A	1	2	1

Legenda: data věk, výška, váha, BMI představují průměrnou hodnotu ± směrodatná odchylka (SD).

Nejvyšší věkový průměr probandů byl zaznamenán u kompresní skupiny (20, 14 ± 1,25 let). Napříč skupinami není významný rozdíl mezi zmíněnými popisnými daty. Pouze u skupiny s kryo-kompresní intervencí lze poukázat na průměrně nižší výšku hráčů oproti kontrolní skupině a skupině s kompresní intervencí. V kombinaci

s průměrně vyšší váhou a BMI zejména oproti skupině s kompresní intervencí. Podrobné informace jsou zmíněny výše v tabulce č. 2.

Graf 2: Týmové zastoupení probandů napříč experimentálními skupinami (n=21)



Legenda: 1 = kontrolní skupina, 2 = kompresní skupina, 3 = kryo-kompresní skupina

V rámci kontrolní skupiny bylo největší zastoupení hráčů z týmu U19, naopak nejnižší zastoupení měli v této skupině hráči týmu Muži A. Stejné zastoupení měla skupina s kryo-kompresní intervencí. Skupina s označením „2“, kompresní skupina, měla největší zastoupení z mužstva muži B a stejný počet 2 probandů z týmů U19 i muži A. Grafické znázornění je ve výše uvedeném grafu č. 2.

## 5. 2 Statistické vyhodnocení dat

Prvním krokem statistického zpracování dat bylo určení, zda se jedná o normální či nenormální rozložení dat dle Shapiro-Wilk testu pro každou hypotézu (viz příloha č. 5, tabulka č. 1). Na základě výsledků se dále rozhodlo mezi využitím parametrických či neparametrických testů ověřující statistickou významnost hypotéz na stanovené hladině  $\alpha = 0,05$ .

### 5. 2. 1 Vyhodnocení hypotézy č. 1

**H01:** U kontrolní skupiny byla zaznamenána změna v parametrech CMJ po porovnání hodnot před YOYO IR1 vůči hodnotám po 24 hodinách od intervence.



**H1:** U kontrolní skupiny nebyla zaznamenána změna v parametrech CMJ po porovnání hodnot před YOYO IR1 vůči hodnotám po 24 hodinách od intervence.

Na základě testu normality Shapiro-Wilk testu vyšla tato data jako normálně rozložená. Tím pádem byl k ověření nulové hypotézy použit parametrický párový T-test (níže uvedená tabulka č. 3). Hladina statistické významnosti byla určena na  $\alpha = 0,05$ .

Tabulka 3: Párový T-test kontrolní skupiny (n=7)

Párový T-test						
H1	Průměr rozdílu CMJ [cm]	SD [cm]	Std. Chyba [cm]	t	df	p-hodnota
	0,581	2,131	0,805	0,721	6	0,498

Legenda: SD=směrodatná odchylnka, std. chyba=standartní chyba, t=číselná míra, která vyjadřuje velikost a směr rozdílu mezi průměry dvou skupin, df stupně volnosti, p-hodnota=míra statistické významnosti

Pro statistické zpracování byly vstupními hodnotami průměrné hodnoty CMJ v rámci měření před únavovým protokolem YOYO IR1 porovnány s hodnotami CMJ po 24 hodinách u kontrolní skupiny. Cílem této hypotézy je ověřit, jestli se probandi budou významně lišit bez ohledu na pozitivitu či negativitu. Jelikož je p-hodnota (0,498) větší než hladina významnosti 0,05, značí to pro **zamítnutí nulové hypotézy H01**. To znamená, že rozdíl mezi hodnotami před YOYO IR1 a po 24 hodinách není statisticky signifikantní. Přijímám tedy H1 ve znění: „U kontrolní skupiny nebyla zaznamenána změna v parametrech CMJ po porovnání hodnot před YOYO IR1 vůči hodnotám po 24 hodinách od intervence“. Hráči patřící do kontrolní skupiny nezaznamenali statisticky významné zlepšení ani zhoršení průměrných hodnot CMJ po pasivním odpočinku absolvovaném po únavovém protokolu YOYO IR1 v porovnání s výchozími hodnotami CMJ.

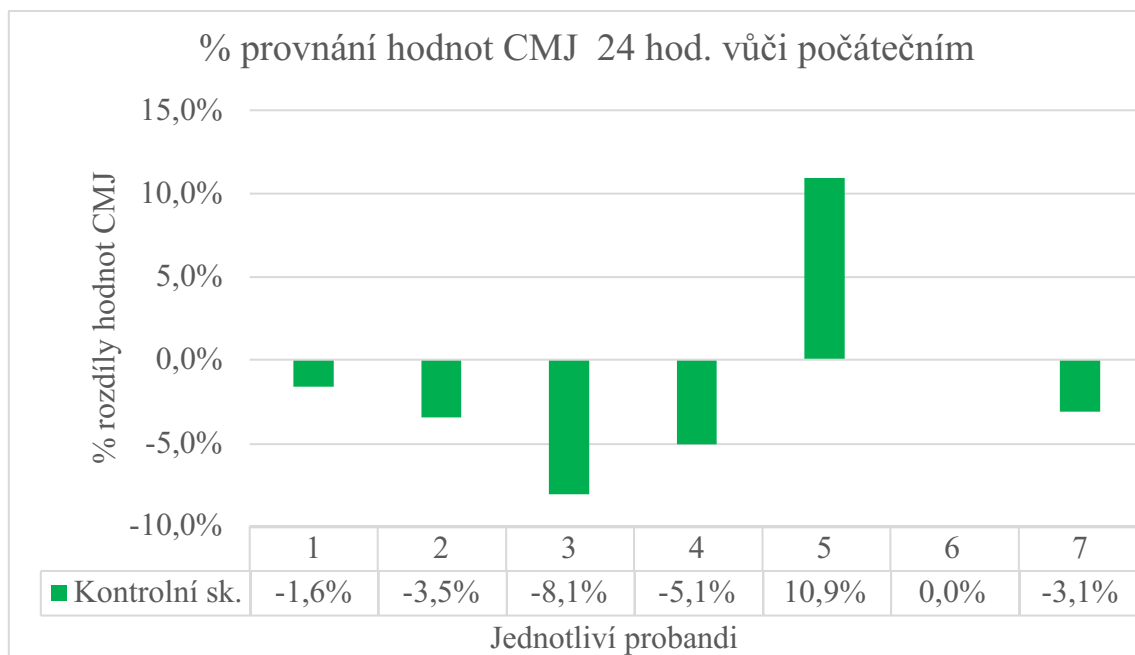
Tabulka 4: Deskriptivní statistika kontrolní skupiny (n=7)

H1	Průměrná hod. CMJ [cm]	N	SD [cm]	Std. chyba [cm]
CMJ před YOYO IR1	35,438	7	2,656	1,004
CMJ po 24 hod	34,857	7	2,670	1,009

Legenda: N=počet probandů, SD=směrodatná odchylnka, Std. chyba=standardní chyba

Po přechtení výše uvedené tabulky (č. 4) průměrných hodnot probandů kontrolní skupiny lze konstatovat snížení průměrného CMJ o 0,581 cm. Z grafů č. 3 (a Přílohy č. 4, graf č. 1) lze vyzorovat změny ve výšce CMJ u jednotlivých probandů počátečního měření a měření po 24 hodinách.

Graf 3: Grafické znázornění % rozdílů průměrných hodnot CMJ kontrolní skupiny (n=7)



Legenda: čísla 1-7 odpovídají jednotlivým probandům kontrolní skupiny

Na výše uveden grafu č. 3 lze vyčíst záporné hodnoty, které nasvědčují zhoršení průměrného výsledku CMJ po 24 hodinách od intervence oproti hodnotám počátečním. Pouze proband č. 5 se oproti ostatním výrazně zlepšil. Tento fakt může mít zásadní vliv na statistickou významnost celé hypotézy.

### 5. 2. 2 Vyhodnocení hypotézy č. 2

**H02:** U intervenční skupiny s kompresní terapií byla zaznamenána změna v parametrech CMJ po porovnání hodnot před YOYO IR1 vůči hodnotám po 24 hodinách od intervence.

**H2:** U intervenční skupiny s kompresní terapií nebyla zaznamenána změna v parametrech CMJ po porovnání hodnot před YOYO IR1 vůči hodnotám po 24 hodinách od intervence.

Tabulka 5: Deskriptivní statistika kompresní skupiny (n=7)

H2	N	Průměr [cm]	SD [cm]	Min. průměr [cm]	Max. průměr [cm]
CMJ před YOYO IR1	7	37,690	5,056	32,80	47,77
CMJ po 24 hod.	7	39,240	4,429	35,97	48,73

Legenda: N=počet probandů, SD=směrodatná odchylka, min=minimální, max.=maximální

Na základě testu Shapiro-Wilk testu vyšla tato data jako nenormálně rozložená. Deskriptivní statistika skupiny je v tabulce výše (č. 5). K ověření nulové hypotézy byl použit neparametrický párový Wilcoxonův test (níže uvedená tabulka č. 6). Hladina statistické významnosti byla určena na  $\alpha = 0,05$

Tabulka 6: Párový Wilcoxonův test (n=7)

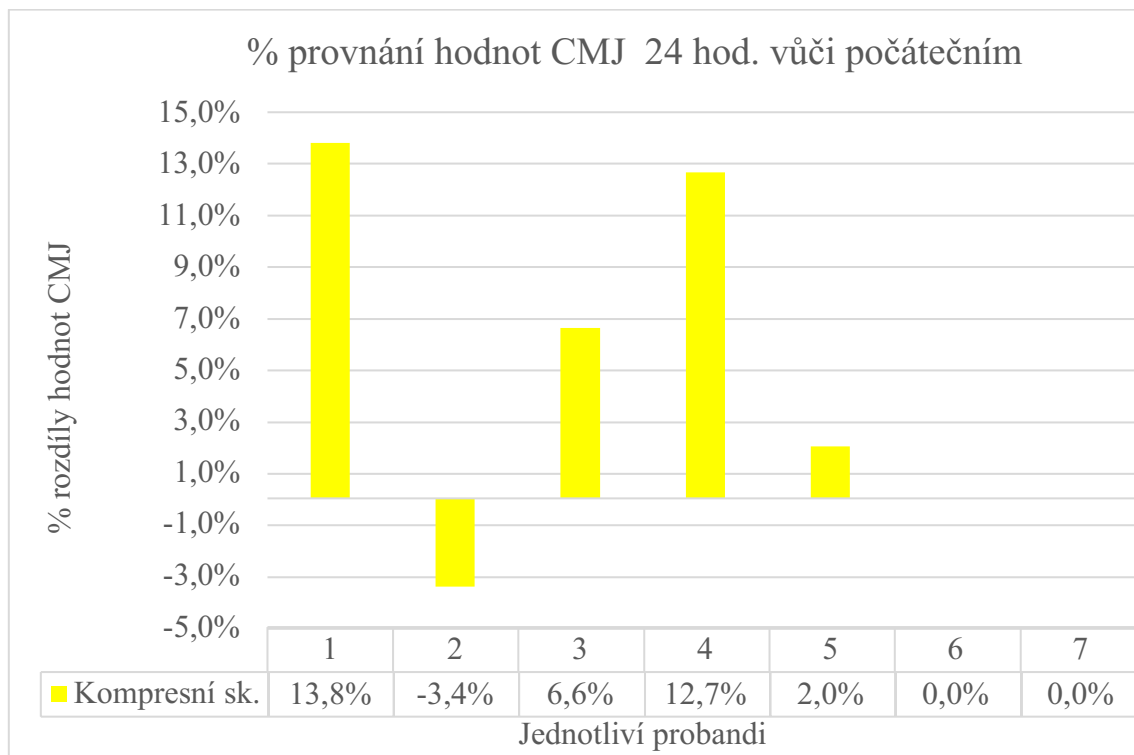
<b>H2</b>	
Z	-1,483
Asymp. Sig. (2-tailed)	0,138
<b>Exact Sig. (2-tailed)/ p-hodnota</b>	<b>0,188</b>
Exact Sig. (1-tailed)	0,094
Point Probability	0,031

Legenda: Z=Z skóre, Exact. Sig. (2-tailed)=p-hodnota statistické významnosti, Exact Sig. (1-tailed)= p-hodnota jednostranného testu, Poin Porbability = pravděpodobnost dosažení pozitivního Z skóre

Hlavním parametrem je *Exact Sig. (2-tailed)*, neboli přesná pravděpodobnost. Toto je přesnější odhad pravděpodobnosti než asymptotická pravděpodobnost (pravděpodobnost získání takového nebo většího rozdílu mezi soubory dat, pouze náhodou, pokud by neexistoval žádný skutečný rozdíl), zejména pro menší soubory dat. P-hodnota (0,188) je větší než hladina významnosti 0,05, tím pádem je rozhodnuto pro **zamítnutí nulové hypotézy H02**. To znamená, že rozdíl mezi hodnotami před YOYO IR1 a po 24 hodinách není statisticky signifikantní. Přijímám tedy H2 ve znění: „U intervenční skupiny s kompresní terapií nebyla zaznamenána změna v parametrech CMJ po porovnání hodnot před YOYO IR1 vůči hodnotám po 24 hodinách“.

Z grafu č. 4 (a přílohy č. 4, graf č. 2) lze vypočítat změny ve výšce CMJ u jednotlivých probandů počátečního měření oproti měření po 24 hodinách.

Graf 4: Grafické znázornění % rozdílů průměrných hodnot CMJ kompresní skupiny (n=7)



Legenda: čísla 1-7 odpovídají jednotlivým probandům kompresní skupiny

Výše uvedený graf č. 4 znázorňuje procentuální rozdíl průměrných hodnot CMJ jednotlivých probandů, kdy nejvýznamnějších změn dosáhl proband č. 1 a 4. Proband č. 6 a 7 měl stejné průměrné hodnoty jako počáteční CMJ.

### 5. 2. 3 Vyhodnocení hypotézy č. 3

**H03:** U intervenční skupiny s kryo-kompresní terapií byla zaznamenána změna v parametrech CMJ po porovnání hodnot před YOYO IR1 vůči hodnotám po 24 hodinách.

**H3:** U intervenční skupiny s kryo-kompresní terapií nebyla zaznamenána změna v parametrech CMJ po porovnání hodnot před YOYO IR1 vůči hodnotám po 24 hodinách.

Tabulka 7: Deskriptivní statistika kryo-kompresní skupiny (n=7)

H3	Průměrná hod. CMJ [cm]	N	SD [cm]	Std. chyba[cm]
CMJ před YOYO IR1	35,900	7	3,112	1,176
CMJ po 24 hod.	34,624	7	3,707	1,401

Legenda: N=počet probandů, SD=směrodatná odchylka, Std. chyba=standardní chyba

Po přečtení výše uvedené tabulky č. 7 průměrných hodnot probandů intervenční kryo-kompresní skupiny lze konstatovat snížení průměrného CMJ o 1,276 cm po porovnání počátečních hodnot před YOYO IR1

Na základě testu normality Shapiro-Wilk testu vyšla tato data jako normálně rozložená. Tím pádem byl k ověření nulové hypotézy použit párový T-test (níže uvedená tabulka č. 8). Hladina statistické významnosti byla určena na  $\alpha = 0,05$ .

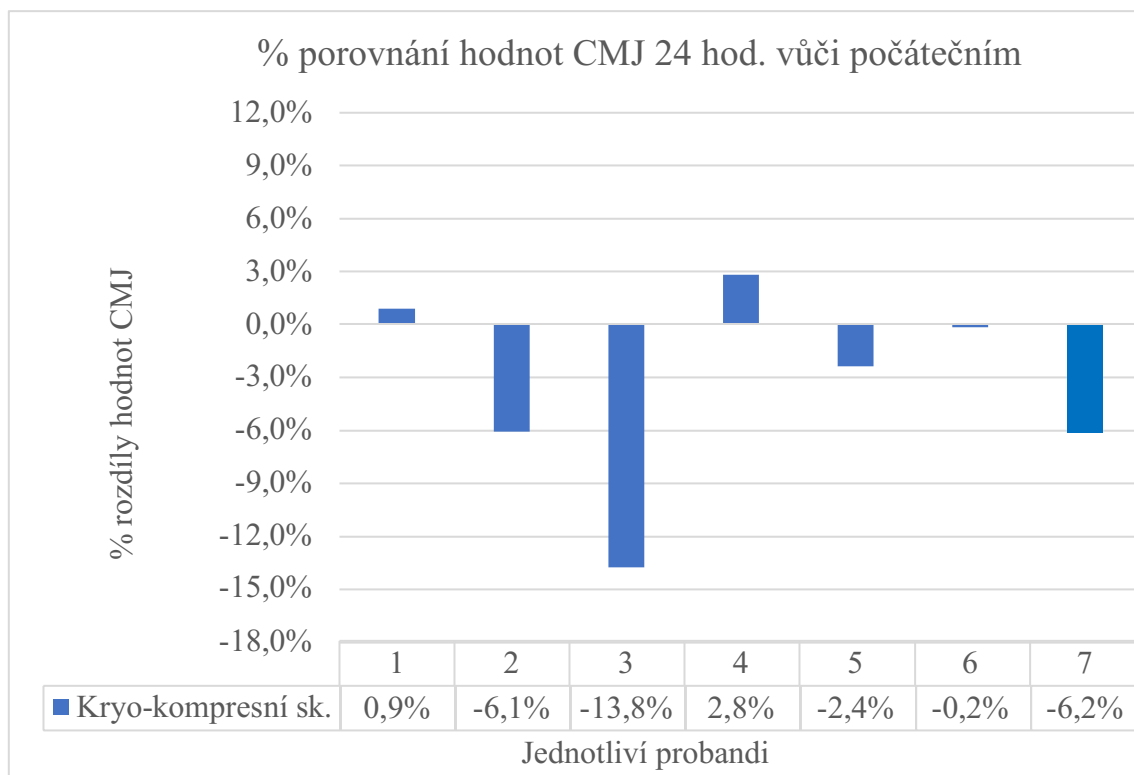
Tabulka 8: Párový T-test kompresní skupiny (n=7)

Párový T-test						
H3	Průměr rozdílů CMJ [cm]	SD [cm]	Std. Chyba průměrů [cm]	t	df	p-hodnota
	1,267	2,097	0,793	0,721	6	0,158

Legenda: SD=směrodatná odchylka, std. chyba=standartní chyba, t=číselná míra, která vyjadřuje velikost a směr rozdílu mezi průměry dvou skupin, df stupně volnosti, p-hodnota=míra statistické významnosti

Pro statistické zpracování byly vstupními hodnotami průměrné hodnoty CMJ v rámci měření před únavovým protokolem YOYO IR1 porovnány s hodnotami CMJ po 24 hodinách u intervenční skupiny s kryo-kompresí. Cílem této hypotézy je ověřit, jestli se probandi budou významně lišit bez ohledu na pozitivitu či negativitu. Jelikož 0,158 je větší než  $\alpha = 0,05$ . Na základě této interpretace se **zamítá nulová hypotéza H03** pro nízkou statistickou významnost a je přijata hypotéza H3 ve znění: „U intervenční skupiny s kryo-kompresní terapií nebyla zaznamenána změna v parametrech CMJ po porovnání hodnot před YOYO IR1 vůči hodnotám po 24 hodinách.“ Z grafického znázornění (graf č. 5 a přílohy č. 4 graf č. 3) je zřejmý jediný výrazný rozptyl hodnot CMJ před protokolem a po 24 hod. u probanda č. 3.

Graf 5: Grafické znázornění % rozdílů průměrných hodnot CMJ kryo-kompresní skupiny (n=7)



Legenda: čísla 1-7 odpovídají jednotlivým probandům kryo-kompresní skupiny

#### 5. 2. 4 Vyhodnocení hypotézy č. 4

**H04:** Po aplikaci kompresní intervence přístrojem Normatec 3.0 byla zaznamenána změna hodnot CMJ po 24 hod. oproti hodnotám kontrolní skupiny.

**H4:** Po aplikaci kompresní intervence přístrojem Normatec 3.0 nebyla zaznamenána změna hodnot CMJ po 24 hod. oproti hodnotám kontrolní skupiny.

Deskriptivní statistika pro tuto hypotézu je v níže uvedené tabulce č. 9. Na základě testu normality Shapiro-Wilk testu vyšla tato data jako normálně rozložená. Tím pádem byl k ověření nulové hypotézy použit Levenův test pro rovnost variací a T-test dvou nezávislých výběrů (tabulka č. 10 uvedený níže). Hladina statistické významnosti byla určena na  $\alpha = 0,05$ .

Tabulka 9: Deskriptivní statistika H4 (n=14)

H4	N	Průměr rozdílů CMJ [cm]	SD [cm]	Std. Chyba [cm]
Kontrolní skupina	7	-0,581	2,131	0,805
Kompresní skupina	7	1,550	2,230	0,843

Legenda: N=počet probandů, SD=směrodatná odchylka, Std. chyba= standardní chyba

Na základě Leveneova testu pro rovnost variací vyšly hodnoty F 0,463 a pravděpodobnosti 0,509. To znamená předpokládané podobné variační rozptyly pro testování rozdílů mezi průměry.

Tabulka 10: T-test dvou nezávislých výběrů H4 (n=14)

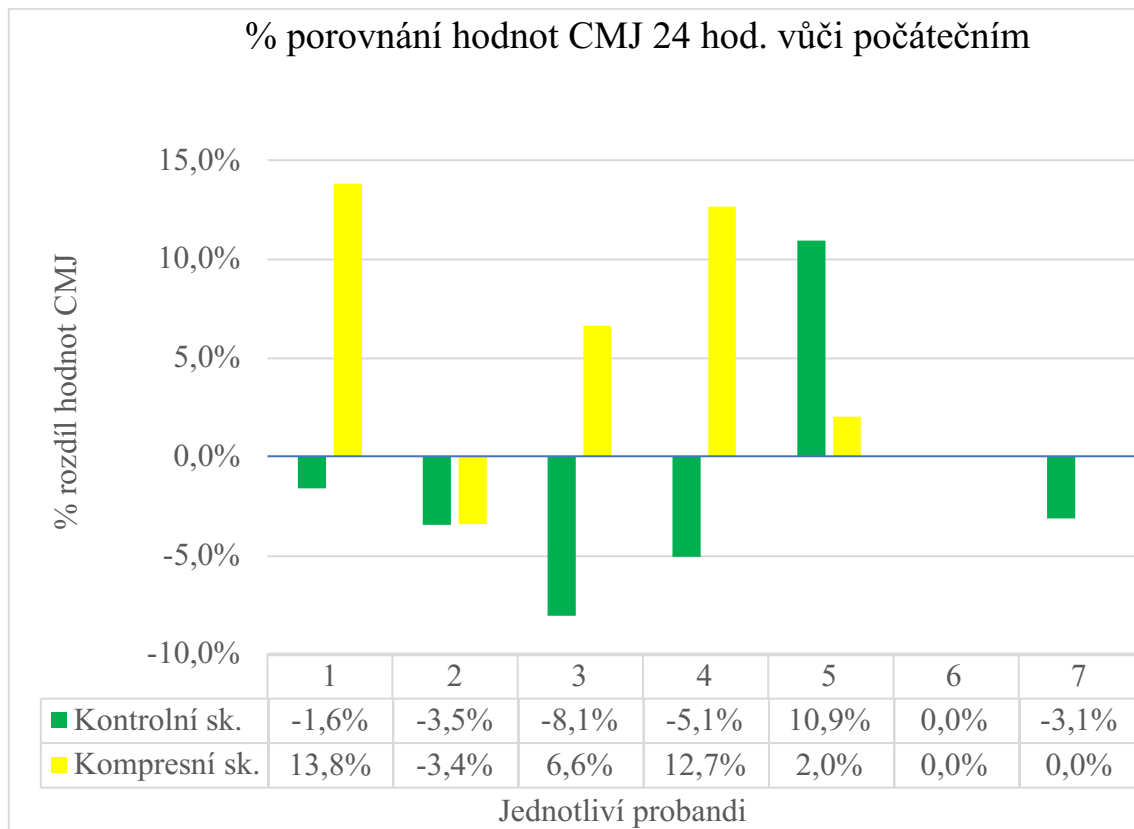
H4	Leveneův Test pro rovnost variací		T-test pro rovnost rozdílů				
	F	Sig.	t	df	p-hodnota	SD [cm]	Std. Chyba [cm]
Předopkl. Rovnosti variací	0,463	0,509	-1,828	12	0,093	-2,131	1,166

Legenda: F=rovnost variability, Sig.=p-hodnota Leveneova testu, SD=směrodatná odchylka, std. chyba=standardní chyba, t=číselná míra, která vyjadřuje velikost a směr rozdílu mezi průměry dvou skupin, df stupně volnosti, p-hodnota=míra statistické významnosti

Pro statistické zpracování byly vstupními hodnotami průměrné hodnoty CMJ v rámci měření před únavovým protokolem YOYO IR1 porovnány s hodnotami CMJ po 24 hodinách u kontrolní skupiny a intervenční kompresní skupiny. Došlo tedy k porovnání rozdílů hodnot CMJ napříč skupinami kontrolní a kompresní. Cílem této hypotézy H4 je ověřit, jestli budou probandi z kompresní skupiny statisticky významně na hladině 0,05 dosahovat lepších hodnot po 24 hodinách od intervence než skupina kontrolní, která pasivně odpočívala. Jelikož je p-hodnota 0,093 a je tedy větší než hladina významnosti 0,05, tím pádem je rozhodnuto pro **zamítnutí nulové hypotézy H04**. To znamená, že není statisticky významný rozdíl v regeneraci (= porovnání hodnot s počátečními) mezi kompresní terapií pomocí Normatec 3.0 a pasivním odpočinkem. Je tedy přijata H4 ve znění: „Použití kompresní terapie u intervenční skupiny s přístrojem Normatec 3.0 nemá prokazatelný vliv na zvýšení hodnot CMJ po porovnání hodnot před YOYO IR1 a po 24 hodinách po intervenci oproti kontrolní skupině.“ Nelze tedy

konstatovat, že by kompresní terapie pomohla zlepšit regeneraci svalové únavy oproti pasivnímu odpočinku. Grafické znázornění hodnot v procentuálním vyjádření zobrazuje graf č. 6, v centimetrech viz přílohy č. 4 graf č. 4.

Graf 6: Grafické znázornění % rozdílů průměrných hodnot CMJ kontrolní a kompresní skupiny (n=14)



Legenda: čísla 1-7 odpovídají jednotlivým probandům kontrolní a kompresní skupiny

### 5. 2. 5 Vyhodnocení hypotézy č. 5

**H05:** Po aplikaci kryo-kompresní intervence přístrojem Game Ready byla zaznamenána změna hodnot CMJ po 24 hod. oproti hodnotám kontrolní skupiny.

**H5:** Po aplikaci kryo-kompresní intervence přístrojem Game Ready nebyla zaznamenána změna hodnot CMJ po 24 hod. oproti hodnotám kontrolní skupiny.

Deskriptivní statistika této hypotézy je zobrazena v níže uvedené tabulce č. 11. Na základě testu normality Shapiro-Wilk testu vyšla tato data jako normálně rozložená. Tím pádem byl k ověření nulové hypotézy použit Levenův test pro rovnost variací a T-test dvou nezávislých výběrů (tabulka č. 12 níže). Hladina statistické významnosti byla určena na  $\alpha = 0,05$ .



Tabulka 11: Deskriptivní statistika H5 (n=14)

H5	N	Průměr rozdílů CMJ [cm]	SD [cm]	Std. Chyba [cm]
Kontrolní skupina	7	-0,581	2,131	0,805
Kryo – kompresní sk.	7	-1,276	2,097	0,793

Legenda: N=počet probandů, SD=směrodatná odchylka, Std. chyba=standardní chyba

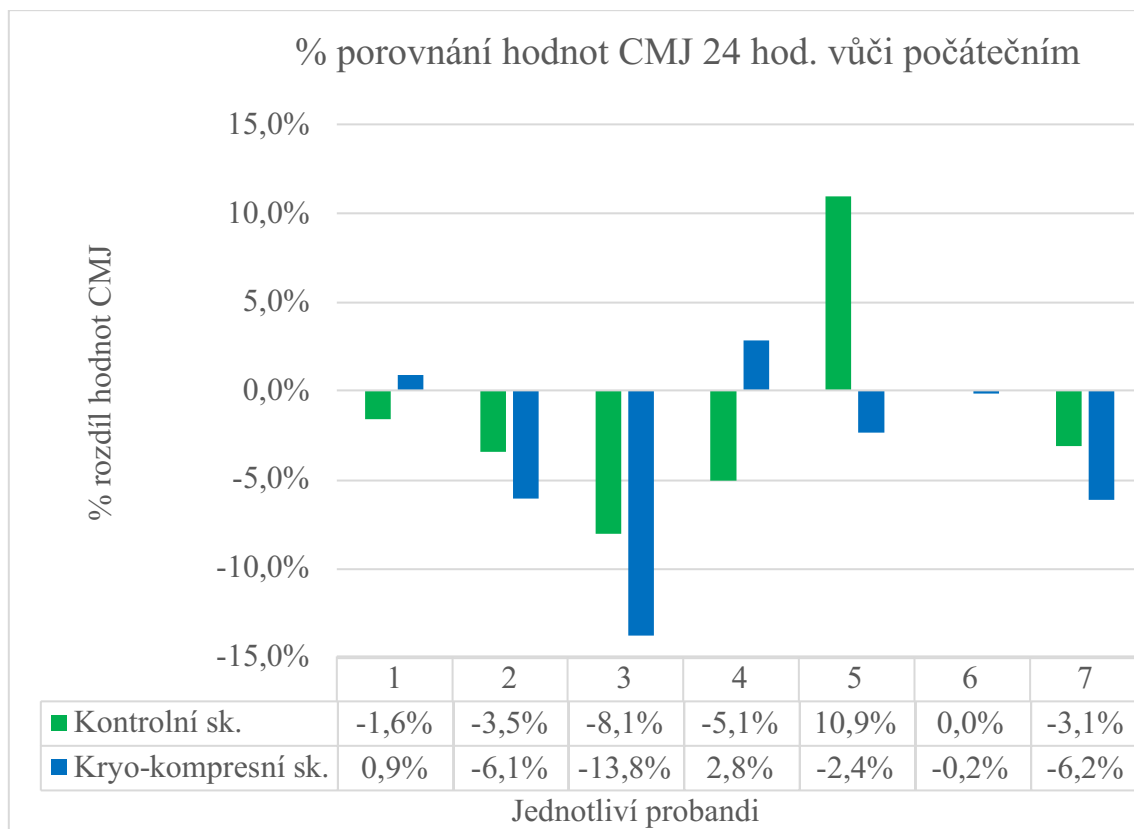
Tabulka 12: T-test dvou nezávislých výběrů H5 (n=14)

H5	Leveneův Test pro rovnost variací		T-test pro rovnost rozdílů				
	F	Sig.	t	df	p-hodnota	SD[cm]	Std. Chyba průměru
Předopkl. Rovnosti variací	0,37	0,851	0,615	12	0,550	0,695	1,130

Legenda: F=rovnost variability, Sig.=p hodnota Leveneova testu, SD=směrodatná odchylka, std. chyba=standardní chyba, t=číselná míra, která vyjadřuje velikost a směr rozdílu mezi průměry dvou skupin, df stupně volnosti, p-hodnota=míra statistické významnosti

Pro statistické zpracování byly vstupními hodnotami průměrné hodnoty CMJ v rámci měření před únavovým protokolem YOYO IR1 porovnány s hodnotami CMJ po 24 hodinách u kontrolní skupiny a intervenční kryo-kompresní skupiny. Došlo tedy k porovnání rozdílů hodnot CMJ napříč skupinami kontrolní a kryo-kompresní. Cílem této hypotézy č. 5 je ověřit, jestli budou probandi z kryo-kompresní skupiny statisticky významně na hladině 0,05 dosahovat lepších hodnot po 24 hodinách od intervence než skupina kontrolní, která pasivně odpočívala. Jelikož je p-hodnota 0,550 a je tedy větší než hladina významnosti 0,05, tím pádem je rozhodnuto pro **zamítnutí nulové hypotézy H05**. To znamená, že není statisticky významný rozdíl v regeneraci (= porovnání hodnot s počátečními) mezi kryo-kompresní terapií pomocí Game Ready a pasivním odpočinkem. Je tedy přijmuta H5 ve znění: „Po aplikaci kompresní intervence přístrojem Normatec 3.0 nebyla zaznamenána změna hodnot CMJ po 24 hod. oproti hodnotám kontrolní skupiny.“ Nelze tedy konstatovat, že by kryo-kompresní terapie pomohla změnit míru svalové únavy oproti pasivnímu odpočinku se statistickou hladinou významnosti  $\alpha = 0,05$ . Interpretací tabulky č. 11 s vypočítaným průměrných rozdílů kryo-kompresní a kontrolní skupiny, lze konstatovat lepších výsledků CMJ u kontrolní skupiny.

Graf 7: Grafické znázornění % rozdílů průměrných hodnot CMJ kontrolní a kryo-kompresní skupiny (n=14)



Legenda: čísla 1-7 odpovídají jednotlivým probandům kontrolní a kryo-kompresní skupiny

Na základě grafů č. 7 (a příloha č. 4, graf č. 5) je zřejmé dosažení průměrně nižších hodnot jednotlivých hráčů v rámci porovnání kryo-kompresní vůči kontrolní skupině. Nejvýznamnějšího rozdílu průměru hodnot ve smyslu jejich snížení dosáhl hráč č. 3 z kryo-kompresní intervenční skupiny, který se zhoršil oproti původní výchozí hodnotě před YOYO IR testem o 13,8 % (5,27 cm).

### 5. 2. 6 Vyhodnocení hypotézy č. 6

**H06:** Po aplikaci kompresní intervence přístrojem Normatec 3.0 byla zaznamenána změna hodnot CMJ po 24 hod. oproti hodnotám kryo-kompresní skupiny.

**H6:** Po aplikaci kompresní intervence přístrojem Normatec 3.0 nebyla zaznamenána změna hodnot CMJ po 24 hod. oproti hodnotám kryo-kompresní skupiny.

V níže uvedené tabulce č. 13 je vypočtena základní deskriptivní statistika této hypotézy. Na základě testu normality Shapiro-Wilk testu vyšla tato data jako normálně rozložená. Tím pádem byl k ověření nulové hypotézy použit Levenův test pro rovnost

variací a T-test dvou nezávislých výběrů (níže tabulka č. 14). Hladina statistické významnosti byla určena na  $\alpha = 0,05$ .

Tabulka 13: Deskriptivní statistika H6 (n=14)

H6	N	Průměr rozdílů CMJ [cm]	SD [cm]	Std. Chyba [cm]
Kompresní skupina	7	1,550	2,230	0,842
Kryo – kompresní sk.	7	-1,276	2,097	0,793

Legenda: N=počet probandů, SD=směrodatná odchylka, Std. chyba=standardní chyba

Tabulka 14: T-test dvou nezávislých výběrů H6 (n=14)

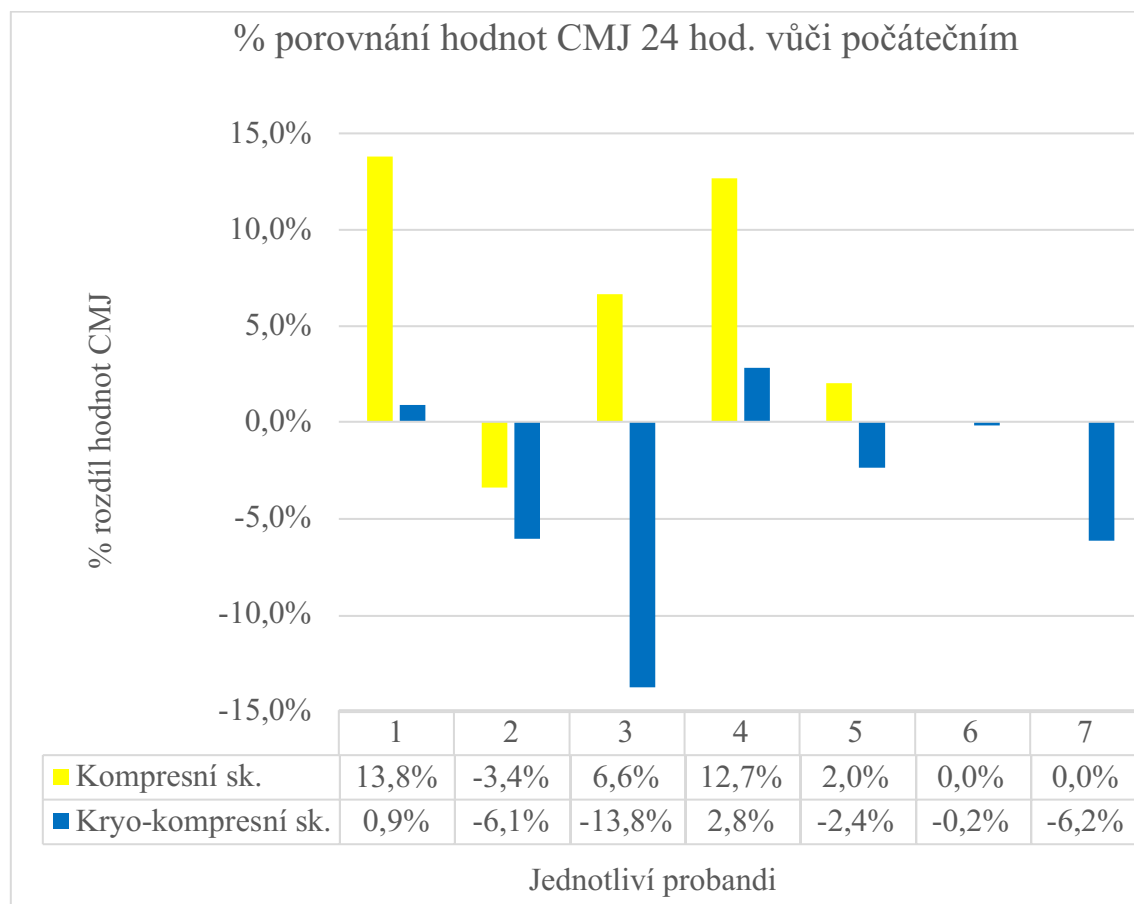
H6	Leveneův test pro rovnost variací		T-test pro rovnost rozdílů				
	F	Sig.	t	df	p-hodnota	SD [cm]	Std. chyba [cm]
Předopkl. Rovnosti variací	0,276	0,609	2,443	12	0,031	2,826	1,157

Legenda: F=rovnost variability, Sig.=p hodnota Leveneova testu, SD=směrodatná odchylka, std. chyba=standardní chyba, t=číselná míra, která vyjadřuje velikost a směr rozdílu mezi průměry dvou skupin, df stupně volnosti, p-hodnota=míra statistické významnosti

Pro statistické zpracování byly vstupními hodnotami průměrné hodnoty CMJ v rámci měření před únavovým protokolem YOYO IR1 porovnány s hodnotami CMJ po 24 hodinách u intervenční kompresní skupiny a intervenční kryo-kompresní skupiny. Došlo tedy k porovnání rozdílů hodnot CMJ napříč skupinami kompresní a kryo-kompresní. Cílem této hypotézy č. 6 je ověřit, jestli budou probandi z kompresní skupiny statisticky významně na hladině 0,05 dosahovat lepších hodnot po 24 hodinách od intervence než skupina kryo-kompresní. Jelikož je p-hodnota (0,031) nižší než hladina významnosti 0,05, je tím pádem rozhodnuto pro **potvrzení nulové hypotézy H06**. To znamená, že je statisticky významný rozdíl v regeneraci (= porovnání hodnot s počátečními) mezi kompresní terapií a kryo-kompresní terapií. Je tedy přijata H06 ve znění: „Po aplikaci kompresní intervence přístrojem Normatec 3.0 nebyla zaznamenána změna hodnot CMJ po 24 hod. oproti hodnotám kryo-kompresní skupiny.“ Lze tedy konstatovat, že by kompresní terapie mohla zlepšit regeneraci svalové únavy oproti

kryo-kompresní terapii. Níže uvedený graf č. 8 (a příloha č. 4, graf č. 6) slouží k vizuálnímu znázornění markantních rozdílů mezi probandy skupin.

Graf 8: Grafické znázornění % rozdílů průměrných hodnot CMJ kompresní a kryo-kompresní skupiny (n=14)



Legenda: čísla 1-7 odpovídají jednotlivým probandům kompresní a kryo-kompresní skupiny

### 5. 2. 7 Vyhodnocení hypotézy č. 7

**H07:** Po aplikaci kryo-kompresní intervence přístrojem Game Ready byla zaznamenána okamžitá změna hodnot CMJ oproti okamžitým hodnotám kompresní skupiny.

**H7:** Po aplikaci kryo-kompresní intervence přístrojem Game Ready nebyla zaznamenána okamžitá změna hodnot CMJ oproti okamžitým hodnotám kompresní skupiny.

V tabulce č. 15 je základní popisná statistika. Na základě testu normality Shapiro-Wilk testu vyšla tato data jako nenormálně rozložená. Tím pádem byl k ověření

nulové hypotézy použit neparametrický Mann-Whitney test (tabulka č. 16). Hladina statistické významnosti byla určena na  $\alpha = 0,05$ .

Tabulka 15: Deskriptivní statistika H7 (n=14)

H7	N	Průměr rozdílů [cm]	SD [cm]	Min. rozdíl průměrů [cm]	Max. rozdíl průměrů [cm]
Porovnávní	14	-1,804	2,745	-7,667	0,733
Kryo-komprese	7	-2,01	2,537	-	-
Komprese	7	-1,57	2,731	-	-

Legenda: N=počet probandů, SD=směrodatná odchylka, min=minimální, max.=maximální

Tabulka 16: Mann-Whitney test H7 (n=14)

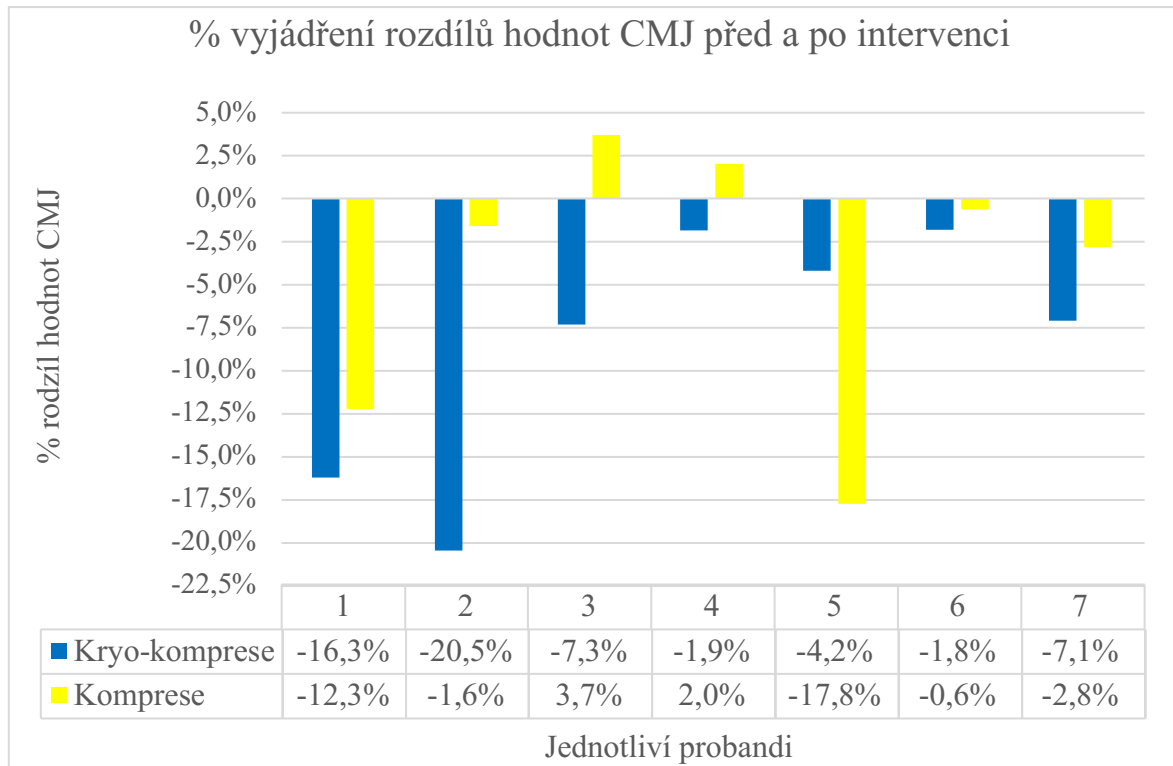
H7	
Mann-Whitney U	17,500
Z	-0,895
Asymp. Sig. (2-tailed)	0,371
Exact Sig. (2-tailed)	0,456

Legenda: Mann-Whitney U= pravděpodobnost stejného rozložení, Z=Z hodnota, Asymp. Sig. (2-tailed)=přibližná p-hodnota, Exact Sig. (2-tailed)=p-hodnota

Hlavním parametrem je *Exact Sig. (2-tailed)*, neboli přesná pravděpodobnost, p-hodnota. Toto je přesnější odhad pravděpodobnosti než asymptotická pravděpodobnost (pravděpodobnost získání takového nebo většího rozdílu mezi soubory dat, pouze náhodou, pokud by neexistoval žádný skutečný rozdíl), zejména pro menší soubory dat. Přesná pravděpodobnost 0,456 je větší než  $\alpha = 0,05$  (tabulka č. 16 uvedená výše). To naznačuje, že takovýto výsledek porovnání průměrných hodnot CMJ dle popisu hypotézy H07 by mohl být dosažen náhodě a není tak statisticky významný. Na základě této interpretace se **zamítá nulová hypotéza H07** pro nízkou statistickou pravděpodobnost a je přijmata hypotéza H7 ve znění: „Použití kryo-kompresní terapie u intervenční skupiny s přístrojem Game Ready má prokazatelný vliv na snížení hodnot CMJ po porovnání hodnot po YOYO IR1 a po intervenci oproti kompresní intervenční skupině. Napříč skupinami tedy nebyla zaznamenána staticky významná rozdílnost v parametrech CMJ při porovnání hodnot po únavovém protokolu YOYO IR1 a po intervenci. Nelze tedy říci, že byla zaznamenán rozdíl v hodnotách po okamžitém použití

intervence kompresní vůči kryo-kompresní používaných k optimalizaci a zefektivnění regenerace a nížení svalové únavy hráče. Po aplikaci obou intervencí nelze říct, že by některá z intervenčních skupin okamžitě dosahovala statisticky významného zlepšení či zhoršení hodnot CMJ po terapii oproti druhé intervenční skupině.

Graf 9: Grafické znázornění % rozdílů průměrných hodnot CMJ kryo-kompresní a kontrolní skupiny po intervenci (n=14)



Legenda: čísla 1-7 odpovídají jednotlivým probandům kryo-kompresní a kompresní skupiny

Na výše uvedeném grafu č. 9 (přílohy č. 4 graf č. 7) lze vyčíst okamžitou změnu CMJ po intervenci. U kryo-kompresní terapie se ani jeden z probandů (1-7) nezlepšil v průměrných hodnotách CMJ. Navíc rozdíl hodnot CMJ -20,5 % je velmi zásadní změnou ve výkonosti. Výsledek změn průměrných hodnot CMJ probanda č. 6 z kompresní skupiny mohl ovlivnit statistickou významnost p-hodnoty.

## 6 Diskuze

Organismus reaguje na fyzickou zátěž narušením homeostázy, čím náročnější tréninková zátěž je na sportovce kladena, tím více energie a aktivity CNS je zapotřebí. Dochází tak ke změnám na chemické, biochemické a centrální úrovni. Tento přechodně „neoptimální“ stav narušení rovnováhy je však nutný k adaptaci jedince na tréninkovou zátěž. Klíčovým faktorem, této adaptace je správná periodizace tréninkových jednotek v rámci mikrocyclů, kterou popsal autor Bompa, Buzzichelli (2019). Autoři v rámci definice superkompensace vyzdvihují stěžejní roli dostatečného času na regeneraci tkání a obnovení homeostázy. Ve vrcholovém sportu je nutné, aby zotavovací fáze proběhla co nejefektivněji.

Svalová únava je komplexní děj odehrávající se na úrovni CNS tzv. centrální únava a na metabolické úrovni svalu vzniká periferní únava. Centrální únava se objevuje na podkladě více reakcí. Jednou z nich jsou změny hladin serotoninu, glutamátu, GABA a dopaminu. To zásadně ovlivní inhibiči či excitabilitu motoneuronů, C vláken a A delta vláken během fyzické zátěže. Další děj souvisí s efektivitou svalové práce, při níž se mění většina energie na teplo. Tím dochází ke zvyšování teploty svalů, ale i CNS, což je pro fyziologické prostředí nepříznivé. Zatímco periferní únava vzniká na podkladě neefektivity neuromuskulární synapse, kdy se vyčerpají energetické zásoby nejen pro samotný vznik aktino-myozinových můstků, ale také pro influx a eflux  $Ca^{2+}$ . Oba typy únavy jsou společně neodmyslitelně spjaty (Carrol et al. 2017).

Často využívaným objektivním měřením pro zjištění aktuální svalové únavy a neuromuskulárního stavu je tzv. Counter Movement Jump. Tento jednoduše proveditelný test slouží k získání hodnot (výšky výskoku) napříč všemi úrovněmi a sporty. Pomocí CMJ lze objektivizovat svalovou únavu sportovce při porovnání počáteční hodnoty např. před tréninkem a po tréninku. Pro testování kvality či míry regenerace lze porovnat hodnoty CMJ před tréninkem a po delším časovém horizontu např. 24h či 48h (Rago 2018).

Podle studie od autorů Alba-Jiménez et al. (2022) je po porovnání nejvyšších a průměrných výsledků jednotlivých atletů doporučeno počítat s průměrnými výsledky skoků jako proměnnou hodnotou pro vyšší senzitivitu při identifikaci únavy nebo vlivu superkompensace.

K podpoře regenerace se využívá mnoho metod a nástrojů od klasické masáže, nutričních opatření, přes použití intermitentní pneumatické komprese, po vystavení studené vodě (Calleja-González 2021).

Na základě těchto informací a aktuálních novinek na trhu rehabilitace, vznikla metodologie této studie. Jako intervence byla zvolena právě kompresní a kryo-kompresní terapie kombinující dvě ze dvou doporučovaných metod. Napříč studii je zjevná nejednoznačnost závěrů o efektu jakékoliv intermitentní pneumatické komprese na regeneraci. Lze dohledat mnoho studií, v nichž autoři vyvracejí pozitivní efekt, jiní dokonce varují před možným negativním efektem na regeneraci v dlouhodobém horizontu a další propagují kompresi jako nástroj pro urychlení regenerace. Společným prvkem veškerých studií je vysoká variabilita zvolené metodologie, časového období aplikace v rámci mikrocyklů a stupni komprese (Calleja-González et al. 2021; Haller et. al. 2022).

Výzkum v rámci této diplomové práce byl sestaven tak, aby prokázal efekt kompresní intermitentní terapie (Normatec 3.0) a kryo-kompresní terapie (Game Ready) vůči kontrolní skupině na parametry svalové únavy. Ukazatelem efektu terapií je objektivní vyšetření CMJ, kdy byly porovnány hodnoty v rámci jednotlivých skupin a poté napříč danými skupinami pro vzájemné porovnání.

Jednotlivé hypotézy výzkumu byly stanoveny na statistickou hladinu významnosti  $\alpha = 0,05$ . Statistické testování prokázalo v šesti ze sedmi případů pro zamítnutí nulové hypotézy. Pro zjištění klinické významnosti byla každá hypotéza otestována Cohenovo d testem pro zjištění efektu intervencí s danou interpretací podle kladné, záporné a číselné hodnoty (Soukup, 2013). Výsledné hodnoty Cohenovo d jsou zobrazeny v příloze č. 5, tabulka č. 2 pro 1. až 3. hypotézu. A v příloze 5, tabulka č. 3 je vyhodnoceno Cohenovo d pro 4. až 7 hypotézu.

Odpovědi na výzkumné otázky jsou jednoznačné ze statistického hlediska. Po interpretaci výsledků je totiž zřejmé, že nelze vysledovat změny v rozdílech CMJ po 24 hodinovém přeměření v rámci kontrolní i jednotlivých intervenčních skupin se statistickou významností. Také nelze vysledovat statisticky významné změny rozdílů CMJ po 24 hodinovém přeměření po porovnání efektu na snížení svalové únavy mezi kontrolní a kompresní skupinou, kontrolní a kryo-kompresní a kompresní a kryo-kompresní skupiny. Okamžitý efekt obou intervenčních terapií nemá statisticky



významný vliv na hodnoty CMJ naměřené ihned po ukončení aplikace kompresní a kryo-kompresní terapie.

## 6.1 Diskuze hypotézy č. 1

První hypotéza byla obecně stanovena na předpokladu významné změny výšky výskoku CMJ po pasivním odpočinku. Hodnota  $P = 0,498$  vyvrátila tuto domněnku a statisticky významná změna hodnot nebyla zaznamenána, ani ve prospěch úspěšné regenerace (výška CMJ stejná nebo vyšší než výchozí hodnota) ani ve smyslu negativním značící nedostatečnost pasivního odpočinku pro regeneraci sportovce. Na ( $P > 0,05$ ) **odmítnutí nulové hypotézy** mohl mít vliv výkon probanda č. 5 z kontrolní skupiny, který jako jediný dokázal zlepšit hodnoty CMJ po pasivním odpočinku, a to v průměru o 3,77 cm (+10,9 %). Klinická významnost této hypotézy byla Cohenovo  $d$  testem (0,237) stanovena **na malý, ale stále relevantní** klinický efekt na svalovou únavu, v tomto případě pasivního odpočinku v rámci kontrolní skupiny.

## 6.2 Diskuze hypotézy č. 2 a 3

Stejný princip porovnání míry regenerace (snížení svalové únavy) byl proveden u kompresní skupiny a kryo-kompresní intervenční skupiny. V obou případech byla hypotéza sestavena na předpokladu statisticky významný rozdíl hodnot CMJ na začátku výzkumu a po 24 hodinách od intervence. Nicméně v obou případech došlo **k zamítnutí nulové hypotézy** a přijetí hypotézy pro statistickou nevýznamnost. U kompresní terapie vyšla  $p$ -hodnota 0,188. I přesto, že v této skupině bylo dosaženo nejzajímavějších výsledků nasvědčujících pro zlepšení regenerace hráčů. K markantnímu zlepšení došlo u probanda č. 1 a 4 z kompresní skupiny, kteří dosáhli nezvykle vysokých rozdílů a skočili v průměru o 4,53 cm (+13,8 %) a 4,15 cm více (+12,7 %). Pouze proband č. 2 zaznamenal mírné snížení výšky výskoku po 24 hodinách, a to o 1,30 cm a proband č. 6 a 7 skočili v průměru naprosto totožné výsledky jako na počátku výzkumu. Klinická významnost této hypotézy byla dle Cohenova  $d$  testu (0,609) naznačuje **středně silný vliv intervence** na sledovaný parametr CMJ s pozitivním efektem u probandů kompresní skupiny.

U kryo-kompresní terapie byla opět zamítnuta nulová hypotéza ( $p$ -hodnota 0,158). Proband č. 1 zlepšení CMJ 0,33 cm a proband č. 4 o 1 cm. Proband č. 6 dosáhl téměř totožného výsledku a dva z hráčů se zhoršili cca kolem 2 cm (-1,83 a -2,17 cm). Již tyto výsledky nasvědčovaly téměř nulové pravděpodobnosti účinnosti kryo-komprese na

snížení svalové únavy. K definitivnímu konsenzu v rámci této diplomové práce přispěl jeden z probandů, který výrazně propadl a zhoršil se o 5,27 cm (-13,8 %). Klinická významnost kryo-kompresní intervence zaznamenal dle Cohenova  $d$  (-0,695) **středně velký efekt**, ale ve smyslu zhoršení průměrných hodnot CMJ po 24 hodinách oproti počátečním. Také je zde široký interval spolehlivosti. To znamená, že i když je změna velká, může být míra nejistoty vysoká. To ztěžuje jednoznačné vyvození závěrů.

Napříč všemi probandy a mnohdy výraznými výkonnostními výkyvy je nutné opět připomenout multifaktoriální faktory únavy. Jelikož žádost o dodržení klidového, spánkového a nutričního režimu, jak jsou probandi zvyklí nemusí být dostačující. Na základě principu centrální únavy je jasné, že například stres zvyšuje hodnoty neurotransmiterů serotoninu, GABA a také glutamátu. To má vliv na přenosy akčních potenciálů a na efektivitu řízení pohybu z motorické kůry. Z opačného pohledu na věc je možný vliv dopaminu a motivace hráče na zlepšení výkonu. Je tedy žádoucí přihlédnout i k možným negativním i pozitivním stresovým faktorům běžného života, ať už psychického či fyzického (špatná či naopak nadprůměrná kvalita spánku) (Carroll et al. 2017; Tornero-Aguilera et al. 2022).

### 6.3 Diskuze hypotézy č. 4

Hypotéza č. 4 až 7 byla sestavena pro porovnání změn napříč jednotlivými skupinami navzájem. Toto porovnání slouží k interpretaci, zda je možné označit některou z terapií (pasivní odpočinek, komprese, kryo-komprese) za efektivnější z hlediska regenerace.

Hypotéza č. 4 porovnává výsledky intervenční kompresní skupiny s výsledky kontrolní skupiny. Na základě statistického testování byla opět **zamítnuta nulová hypotéza** hovořící o změně průměrných hodnot CMJ po kompresní intervenci. P-hodnota byla po statistickém testování stanovena na 0,093. Nelze tedy říci, že byla zaznamenáno snížení svalové únavy hráčů po použití přístroje Normatec 3.0 oproti pasivnímu odpočinku. Nicméně po přečtení grafu č. 6 (a přílohy č. 5, graf č. 13) s vizuální interpretací výsledků je zřejmé, že proband č. 5 z kontrolní skupiny zaznamenal jako jediný zlepšení, a to velmi výrazné. Tato skutečnost by mohla pravděpodobně statisticky zvýšit významnost kontrolní skupiny a snížit tak významnost pozitivního vlivu komprese. Průměrné hodnoty rozdílu CMJ kontrolní skupiny (-0,581 cm) a kompresní (1,550 cm) opět potvrzují možný pozitivní efekt na regeneraci hráčů. Nicméně statistické výsledky

hovoří jasně. **Malý efekt klinické významnosti** ukazuje testování hypotézy pomocí Cohenova  $d$  (0,329), ovšem i přesto je relevantní tento efekt se zohledněním velikosti výzkumného souboru. Znamená to tedy, že je možné označit kompresní terapii jako klinicky významnou pro aplikaci na snížení svalové únavy.

Nynější evidence je rozporuplná a jsou publikovány studie, které se navzájem negují. Mezi studie s jednoznačně pozitivním výsledkem hovořící ve prospěch IPC (intermitentní pneumatické komprese) patří ta od autorů Artés et al. (2024). Došlo k porovnání efektivity IPC vůči pasivnímu odpočinku u 16 probandů rozdělených do dvou skupin po 8 probandech. Jako únavový protokol byly zvoleny opakované sprinterské úseky na ergometru. V rámci této studie zkoumali autoři vliv na kardiovaskulární parametry (krevní tlak, srdeční funkce, periferní vaskulární resistance). IPC byla aplikována na 30 minut s tlakem v rozmezí od 1 až do 80 mmHg. Na všech zkoumaných proměnných zjistili autoři statisticky významné zlepšení (krevní tlak  $P < 0.001$ , srdeční funkce  $P < 0.05$ , periferní vaskulární resistance  $P < 0.001$ ) oproti pasivní skupině. I přes nízký počet probandů označili autoři vliv IPC jako prokazatelně pozitivní na regeneraci sportovce po fyzické zátěži.

Studie od autorů Cochrane et al. (2013) byla rozsáhlejší ve sledovaných parametrech - vertikální výskok na jedné noze, dynamometrie (isometrická, koncentrická i excentrická síla m. quadriceps femoris) a hladina kreatin kinázy. Hodnoty byly měřeny před a po únavovém protokolu (3x100 opakování maximální excentrická kontrakce na dynamometru) a poté v rozmezí 24h, 48h a 72h u skupiny s IPC a s pasivním odpočinkem. Parametry komprese byly nastaveny na bilaterální aplikaci kompresních nohavic s tlaky 60 – 80 mmHg, po dobu 30 minut. Celkem se však zúčastnilo pouze 10 probandů. Autoři uvádí statisticky nevýznamný rozdíl ( $P > 0,05$ ) u porovnání skupin po 24 hodinách v hodnotách kreatin kinázy, které se nelišily. Stejně tak hodnoty single-leg vertical jump. Dynamometrické přeměření ukázalo zlepšení v excentrické síle o rychlostech  $30^\circ \cdot s^{-1}$  and  $180^\circ \cdot s^{-1}$  oproti kontrolní skupině.

Za zmínku stojí také studie od Stedje a Armstronga (2021), kteří porovnávali 3 studie na 2. úrovni evidence (PEDro 7 z 10). Všechny 3 studie zahrnovaly vytrvalostní běžce. Jedná se tedy o jiný typ fyzické zátěže oproti fotbalovému tréninku a zápasu, kdy převažuje rychlostní intervalová zátěž s intermitentním maximálním úsilím. Nastavení intervenčního protokolu bylo u první a druhé studie nastaveno na 20 minut 80 mmHg komprese, třetí studie použila 60 minut kompresní terapie na úrovni 90 až 100 mmHg.

První studie porovnávala efekt IPC vůči masáži a kontrolní skupině pomocí hodnotící škály svalové únavy a bolesti, kreatin kinázy a byl porovnán čas na 400 m. Celkem se zúčastnilo 57 ultramaratonců. Výsledkem bylo statisticky významné snížení percepce bolesti a svalové únavy okamžitě po intervenci a opakovaný běh na 400m vyšel lépe  $P < 0,0001$  skupině s IPC oproti kontrolní skupině po 24 hodinovém rozestupu. Zbylé proměnné nebyly statisticky významné ve prospěch IPC jako zefektivnění regenerace. Druhá studie zkoumala spíše dlouhodobý efekt intervence pneumatickou kompresí, je tudíž irelevantní porovnávat tento výzkum s designem studie v rámci této diplomové práce. U třetí studie byl výzkumný soubor o celkem 10 atletech, u kterých se po 20 mílovém únavovém protokolu na 70 %  $VO_2max$  měřily hodnoty CRP odebíraný jako zánětlivý marker. CRP naměřené po 24 hodinách od protokolu bylo nižší u intervenční IPC skupiny, ovšem na hladině  $P > 0,05$ , čímž se tato skutečnost stala statisticky nevýznamnou (Hoffman et al. 2016; Won et al. 2021).

Další studie, která neprokázala benefity pro zotavení atleta při použití IPC je od autorů Wiecha et al. (2021). Výzkumný soubor byl tvořen 45 zdravými muži. Zkoumanými proměnnými byly hladiny kreatin kinázy, laktátové dehydrogenázy, isokinetická svalová síla, rozsah pohybu v kolenním kloubu a percepce bolesti na vizuální analogické škále. Výsledky po únavovém protokolu s intenzivně plyometrickými a explozivními prvky se odebíraly po 1h, 24h a 48h od intervence (IPC, negativní komprese a pasivní odpočinek). IPC byla nastavena na 30 minut s maximální kompresí 80 mmHg a aplikací v nohavicích od periferie až po pánev. Autoři nezaznamenali ani jednu statisticky významnou změnu ve prospěch zlepšené regenerace po IPC.

Shrnutím výsledku hypotéz v rámci této diplomové práce a zmíněných studií je pravděpodobné, že nelze používat intermitentní pneumatickou kompresi k podpoře regenerace, pokud bychom zkoumali pouze biologické markery, krevní testy a neuromuskulární aktivitu. Sportovec může získat benefity z IPC ze subjektivního pohledu. Ve dvou ze zmíněných studiích (Hoffman et al., 2016; Won et al., 2021) je patrná okamžitá změna subjektivního vnímání svalové únavy po aplikaci 30 minut IPC, s maximem komprese 80 mmHg až 100 mmHg. Poslední zmíněná studie však toto tvrzení vyvrací. Jelikož se jedná o snadno aplikovatelnou intervenci bez výrazného vlivu na následovný fyzický výkon. Tato intervence se nezdá být přínosnou pro sportovce. Po zohlednění pravděpodobného snížení vnímání bolesti a svalové únavy je IPC vhodná pro fotbalové prostředí. Kde je na zotavení málo času mnohdy v rámci jednotlivých hodin

kvůli nabité periodizace mikrocyklů. Nicméně tato diplomová práce nepřinesla objektivní výsledky podporující argument pro zařazení intermitentní pneumatické komprese do regeneračního úseku pro podporu organismu na další zátěž.

#### 6. 4 Diskuze hypotézy č. 5

Překvapivě jednoznačně vyšly výsledky porovnání kryo-komprese vůči kontrolní skupině, kde je již z grafů patrná větší míra regenerace u kontrolní skupiny oproti intervenci přístrojem Game Ready. Na základě P hodnoty 0,550 byla **odmítnuta nulová hypotéza** č. 5 a byla přijata hypotéza o neúčinnosti kryo-kompresní terapie vůči pasivnímu odpočinku. Průměrné hodnoty rozdílu kontrolní skupiny (-0,581 cm) a kryo-kompresní skupiny (-1,276) hovoří v souladu se statistickým testováním. Na základě těchto průměrných hodnot je možné konstatovat lepší výsledky regenerace u kontrolní skupiny vůči kryo-kompresní. Ovšem pouze v rámci této diplomové práce, jak již bylo zmíněno nebyla zaznamenána statistická významnost u této hypotézy, tudíž nelze generalizovat trend kryo-kompresní skupiny. Ovšem klinická významnost vypočtena Cohenovo d (-0,977), hovoří v **silný efekt terapie**. Ovšem **záporná hodnota** je interpretována ve prospěch klinického významu kontrolní skupiny oproti kryo-kompresní intervenční skupině. Pro široký rozptyl intervalů spolehlivost, nelze toto tvrzení přijmout s jistotou.

Jelikož je kombinace kompresní a kryoterapie novinkou posledních let, zejména v českém prostředí, prozatím není možné najít mnoho studií zabývajících se efektem na regeneraci sportovce po fyzické zátěži. Nicméně v ortopedii je Game Ready hojně využívaným nástrojem k aplikaci po operacích, kdy se prokazatelně daří snížit potřebu analgetických léků i opioidní povahy u pacientů hned druhý den po operaci předního zkříženého vazů, totální endoprotézy kolenního kloubu a u dětí po operaci skoliózy páteře. V ortopedické sféře se využívá nejnižší možný tlak 5-15 mmHg a teplota 5 až 0 °C dle subjektivní tolerance pacienta, avšak vždy jednotná pro danou studii. Žádná studie prozatím nezkoumala dlouhodobé dopady použití kryo-komprese v rané fázi po operacích (Bellon et al. 2019; De Bie et al. 2021; Murgier a Cassard 2014).

Ze sportovní oblasti se z dostupných zdrojů podařilo najít studii autorů (Alexander et al. 2021), kteří zkoumali vliv kryo-komprese na regeneraci po únavovém protokolu. Studie se zúčastnilo 18 fotbalistů ve věku 23.8±3.5. Odběr dat se konal MD + 3, poté absolvovali YOYO IR1 únavový test a byla jim náhodně určena pasivní nebo

kryo-kompresní intervence. Kryo-kompresce byla nastavena na 15 minutový cyklus s kompresí 5- 75 mmHg o teplotě vody 10°C. Vliv na excentrickou svalovou sílu ischiokrukálních svalů nebyl statisticky významně ovlivněn v porovnání s pasivním odpočinkem. Jak sám autor uvádí s takto nastavenou teplotou se nedostali na doporučovanou hranici terapeutického rozpětí teploty kůže 10-15°C dle Belsey et al. (2024) a Kennet et al. (2007). Tento terapeutický rozptyl byl zjištěn při testování metabolických a protizánětlivých účinků na zvířatech. Je tak autory Kwiecien a McHugh (2021) považován za problematicky přenositelný na lidské tělo. Obecně panuje skepse, kdy se nyní fyzioterapeutický svět rozdělil na dva póly podporující zažitý protokol (P)RICE a opačný pohled na věc zastávají příznivci protokolu PEACE and LOVE. Pro tuto diplomovou práci si dovolím vyjmout jen to relevantní a zmíním propagaci kryo-terapie ihned po traumatu v rámci (P)RICE, zatímco v protokolu PEACE and LOVE se kryo-terapii vyhýbají a nechávají přirozeně proběhnout zánětlivou reakci. Obecně je tato problematika jedním velkým otazníkem s nejasnými a protichůdnými informacemi (Chen et al. 2023).

Druhá studie autorů Alexander et al. (2022) je z fotbalového prostředí, kdy během plné tréninkové a zápasové zátěže u skupiny fotbalistů ve věku 18 +/-0,5 let. Výzkumný soubor se skládal z 20 mužů, kteří byli rozděleni do dvou skupin. První skupina byla s pasivní intervencí a skupina druhá s kryo-kompresní terapií. Pro kryoterapii byla použita jedna základní jednotka Game Ready® a dvě manžety na dolní končetiny spojené rozdělovacím zařízením, které umožňovalo cirkulaci studené vody v obou manžetách. Hráči byli během aplikace vleže na lehátku. Autor však zvolil aplikaci, která spočívala v použití manžety, které obepínaly pouze stehno na obě dolní končetiny po dobu 20 minut se střední přerušovanou kompresí (5-55 mm Hg). Chybí zde údaj o nastavené teplotě vody na základní jednotce. Zkoumaným parametrem byl CMJ formou hands on, ukazatel neuromuskulárního stavu. Výsledky této studie ukázaly na zhoršení CMJ oproti kontrolní skupině ihned po kryo-kompresní terapii a v dalším časovém horizontu, který není uveden, nezaznamenali rozdíl oproti kontrolní skupině. Výsledky studie se shodují s výsledky v rámci této diplomové práce konkrétně s hypotézou č. 5 ačkoliv byla metodika pozměněna v parametrech komprese na nejvyšší úroveň, intervence probíhala 30 minut, byla dodržena jednotná teplota 0° u všech probandů a hlavně byla použita celková manžeta na DKK od akra po tříselnou krajinu.

## 6. 5 Diskuze hypotézy č. 6

Hypotéza č. 6 byla jako jediná na základě statistického testování **přijata nulová verze hypotézy** (p-hodnota 0,031) o vyšším efektu kompresní terapie na parametry svalové únavy oproti terapii kryo-kompresní. Lze tedy konstatovat, že kompresní terapie by mohla zlepšovat svalovou regeneraci oproti kryo-kompresní terapii. Po kompresní terapii byla průměrná hodnota CMJ zvýšena o 1,550 cm a po kryo-kompresi se průměrné hodnoty CMJ snížily o 1,276 cm. Markantní rozdíly ve výsledcích těchto dvou intervencí jsou potvrzeny i testem Cohenovo d, kdy hodnota 1,306 hovoří pro opravdu **silnou klinickou významnost** v kombinaci s úzkým rozptylem intervalů spolehlivosti, což dodá na jistotě tohoto vyjádření o velkém efektu kompresní terapii v porovnání s kryo-kompresní terapií. Hodnota 1,306 znamená, že téměř 90 % probandů z kompresní skupiny převyšuje průměrného probanda ze skupiny kryo-kompresní. Interpretace se opírá o publikaci od autora Soukup (2013). Studie porovnávající efekt těchto dvou intervencí nebyla aktuálně publikována, tudíž není možné porovnat výsledky a argumentovat v rámci této problematiky o metodice.

Z teoretického hlediska si pravdivost nulové hypotézy odůvodňují na základě snížení perfúze a metabolických procesů ochlazením. Toto utlumení přirozené reakce organismu na intenzivní zátěž, kdy vzniká ve svalových vláknech lokální zánět, není dodnes prozkoumána z dlouhodobého hlediska. Do nedávna byla však kryoterapie v jakékoliv podobě velmi propagovaným prvkem podněcujícím zotavení po výkonu zejména na DOMS (Hohenauer et al. 2015). Nyní se spekuluje o jejích benefitech. I když působí převážně analgeticky, kryoterapie by mohla potenciálně narušit zánět, angiogenezi a revaskularizaci, zpomalit infiltraci neutrofilů a makrofágů a také zvýšit počet nezralých myofibril (Dubois, Esculier 2020).

Okamžitým přínosem je tedy snížení percepce bolesti na podkladě snížení rychlosti vedení informace aferentních A $\delta$  a C vláken. Toho lze dosáhnout právě snížením teploty kůže. Z dlouhodobého hlediska je doporučeno zvýšené opatrnosti a důsledného plánování aplikace kryoterapie. A to hlavně na adaptaci hráče a jeho progres ve výkonnosti (Algaflly, George 2007).

## 6. 6 Diskuze hypotézy č. 7

Poslední hypotéza zkoumala okamžitý vliv intervence kryo-kompresní a kompresní na hodnoty CMJ. Po statistickém testování byla **nulová hypotéza zamítnuta**

(p-hodnota 0,456). Po aplikaci obou intervencí nelze říct, že by některá z intervenčních skupin okamžitě dosahovala statisticky významného zlepšení či zhoršení hodnot CMJ po terapii oproti druhé intervenční skupině. Průměrné hodnoty CMJ byly u kryo-kompresní terapie nižší v průměru o 2,04 cm a po kompresní terapii zaznamenali probandi průměrné snížení hodnot CMJ o 1,57 cm. Po interpretaci Cohenovo d pro tuto hypotézu lze konstatovat **malý negativní efekt** kryo-kompresní terapie oproti kompresní na okamžité hodnoty CMJ po intervenci. Redukce výkonnosti ihned po aplikaci kryo-kompres je potvrzena i v již zmiňované studii po intervenci kryo-kompresí u fotbalistů (Alexander et al., 2022). V rámci systematického přehledu o návratu sportovce do fyzické zátěže ihned po kryoterapii bylo autory Pritchard a Saliba (2014) vybráno 35 studií z 1449 dostupných. Na základě zařazených studií nelze jednotně prohlásit, jestli může být okamžitý návrat ke sportu doporučen či nikoliv. V 5 studiích byla zaznamenána snížená svalová síla a výška výskoku, což by korelovalo s výsledkem v rámci hypotézy č. 7.

Jelikož je únava multifaktoriální záležitost pro daného jedince (Greenhouse- Tucknott et al. 2022; Yi et al. 2022). Pro monitoring subjektivních aspektů únavu je hodně využíván Hooper-Index dotazník (kapitola 12.1. obrázek 12). Tento dotazník je vhodné kombinovat např. s CMJ či variabilitou srdečního tepu monitorovaného během zátěže. V rámci, něhož je na škále od 1 do 7 (1= nejlepší a 7=nejhorší) hodnocena kvalita a délka spánku, psychický stav - stres, pociťovaná svalová únava a celková únava (Thorpe et al. 2015).

Pro tuto pilotní studii byly využity hodnoty právě svalové a celkové únavy. Od každého z probandů byl před počátečním měřením CMJ slovně odebrána hodnota, která odpovídala danému okamžiku a poté byly hodnoty odebrány po 24 hodinách od intervence pro porovnání vývoje. Data byla odebrána a vyhodnocena pouze jako vedlejší ukazatel zejména pro potřeby trenéra. Ráda bych tyto výsledky uvedla i zde pro ozřejnění účinnosti intervencí na subjektivní pocity. Data byla zpracována pro všechny probandy (n=21) a pro každou skupinu zvlášť (n=7,7,7). Celkové výsledky ukazují zhoršení svalové únavy u 19 % probandů, **zlepšení u 52 %** a stejné hodnoty udávalo 29 % hráčů. Pro celkovou únavu byly následující výsledky zhoršení u 29 %, zlepšení u 43 % a stejné výsledky u 29 % probandů. V kontrolní skupině zaznamenalo zhoršení u svalové i celkové únavy 43 %, zlepšení svalové únavy uvádí 14 % a celkové 29 % hráčů a stejné výsledky mělo 43 % a 29 % probandů v pořadí svalová a celková únava. Kompresní skupina měla u zkoumaných typů únav u 14 % probandů, zlepšení svalové



únavy udávalo 43 %, u celkové únavy 57 % a stejné hodnoty při porovnání hodnocení na škále uvedlo v rámci svalové únavy 29 % a u celkové 43 %. Třetí skupina, kryo-kompresní zaznamenala 0 % zhoršení svalové únavy, 57 % zlepšení a 43 % probandů nahlásilo stejné hodnoty. U celkové únavy se zhoršilo 29 %, 57 % se udávalo hodnoty ve smyslu zlepšení celkové únavy a 14 % hráčů bylo beze změny v hodnotách. Pro regeneraci je důležité zlepšení hodnot i hodnoty beze změny. Díky vyhodnocení Hooper-Indexu je zřejmý pozitivní vliv obou typů kompresní intermitentní terapie na subjektivní vnímání svalové i celkové únavy. Jako pozitivní hodnotím i výsledek beze změny, kdy je v rámci tréninkových cyklů důležité, aby nedocházelo ke zhoršení. Návrat na původní stav před tréninkovou zátěží je zcela v pořádku a žádoucí (Bompa, Buzzichelli 2019).

## **6. 7 Limity výzkumu**

Design výzkumu v rámci této diplomové práce retrospektivně hodnotím jako jediný reálně proveditelný z důvodu časového vytížení hráčů. Design této pitolní studie vznikl na podkladě studií autora Alexander (2021, 2022). V úvahu připadal také cross-over design ovšem mikrocyklická periodizace týmů SK Aritma Praha nedovolila realizaci. Proto časová náročnost a koordinace hráčů v přípravném období byla jednou z limitací studie, kdy nebylo možné provést měření CMJ po 48 a případně 72 hodinách. Další limitací byl nízký počet probandů v rámci jednotlivých skupin. Tento limit byl problematický pro statickou analýzu. Z toho důvodu byla v rámci diskuze otestována klinická významnost. Pro komplexní pohled na svalovou únavu by bylo vhodné zvolit i odběr krevních hodnot pro hladiny CK či laktátu či naopak zařazení subjektivního pohledu probanda na jeho svalovou únavu. Ačkoliv byl do diskuze zařazen Hooper-Index dotazník a byly exaktně vybrány otázky týkající se únavy. Bylo by vhodné stanovit korelaci mezi CMJ a Hooper-Indexem. Poté by bylo určit případnou vztah multifaktoriálních vlivů na hodnoty CMJ daného probanda.

## 7 Závěr

Tato pilotní studie byla koncipována za účelem ověření či zjištění vlivu kompresní intermitentní terapie na svalovou únavu fotbalistů. Celkem se této studii zúčastnilo 21 hráčů z fotbalového klubu SK Artima Praha. Deset hráčů bylo z kategorie U19, čtyři hráči z týmu A muži a sedm hráčů z týmu B mužů. Výzkumný soubor byl po náhodném rozdělení rozřazen do dvou intervenčních skupin (kompresní a kryo-kompresní) a kontrolní skupiny, a to vždy po 7 probandech. Cílem této diplomové práce bylo zjistit, jestli a jaký vliv má kompresní a kryo-kompresní intermitentní terapie na parametry svalové únavy u fotbalistů. Dále bylo cílem ozřejmit, zdali je možné označit jednu z intervencí za efektivnější pro hráčovu regeneraci (snížení svalové únavy). Tyto cíle byly naplněny.

Po zpracování dat nasbíraných během studie lze konstatovat statisticky nevýznamnou podporu snížení svalové únavy aplikací kompresní i kryo-kompresní intervence. Porovnáním jednotlivých skupin navzájem byla zjištěna statistická významnost průměrných změn hodnot CMJ hovořících ve prospěch kompresní intervence vůči kryo-kompresní. Důležité je zmínit porovnání kontrolní vůči kryo-kompresní skupině, kdy byly změny bez statistické významnosti, ovšem pouhým porovnáním rozdílů průměrných hodnot CMJ a výpočtem Cohenovo  $d$  je zřejmý negativní efekt kryo-kompresní intervence v rámci této studie.

Hlavním limitem této diplomové práce byl nízký počet probandů, nelze tak interpretovat výsledky se silnou statistickou evidencí. Pro potencionální budoucí zkoumání dané problematiky je vhodné zvýšit počet probandů a doplnit metodiku práce o multifaktoriální pohled na svalovou únavu a regeneraci. Nicméně vypočtená klinická významnost podle Cohenovo  $d$  testu ukazuje na přínos těchto intervencí do praxe ovšem s různou mírou jistoty.

Závěrem této diplomové práce je statistická nevýznamnost efektu kompresní a kryo-kompresní terapie na snížení svalové únavy hráčů fotbalu po jednorázové aplikaci. Pro snížení svalové únavy by měla být přínosnější kompresní terapie oproti kryo-kompresní. V praxi by dle klinické významnosti měl mít přednost pasivní odpočinek (kontrolní skupina) oproti kryo-kompresní terapii. Komerční propagace výrobců kompresních a kryo-kompresních intermitentních přístrojů by neměly mystifikovat neodbornou veřejnost o pozitivním efektu aplikace terapie na jejich regeneraci a snížení

svalové únavy, jelikož vyjádření není jednoznačně pravdivé. Problematika tohoto tématu by měla být předmětem dalšího zkoumání pro zpřesnění a sjednocení evidence těchto intervencí.

## 8 Zdroje

1. AKYILDIZ, Z., 2022. *Monitoring the post-match neuromuscular fatigue of young. Online. Turkish football players.* Online. Scientific Reports. **12**, 13835. ISSN 2045-2322. Dostupné z: doi:10.1038/s41598-022-17831-7. [citováno 2024-04-04]
2. ALBA-JIMÉNEZ, Claudia, 2022. *Trends Assessing Neuromuscular Fatigue in Team Sports: A Narrative Review.* Online. Sports. **10**(3), 33. ISSN 2075-4663. Dostupné z: doi:10.3390/sports10030033. [citováno 2024-04-04]
3. ALEXANDER, J. et al., 2022. *Effects of contemporary cryo-compression on post-training performance in elite academy footballers.* Online. Biology of Sport. **39**(1), 11–17. ISSN 0860-021X. Dostupné z: doi:10.5114/biol sport.2022.102866. [citováno 2023-02-04].
4. ALEXANDER, J., 2021. *Recovery profiles of eccentric hamstring strength in response to cooling and compression.* Online. Journal of Bodywork and Movement Therapies. **27**, 9–15. ISSN 1360-8592, 1532-9283. Dostupné z: doi:10.1016/j.jbmt.2021.03.010. [citováno 2024-02-24].
5. ALGAFLY, Amin A., 2007. *The effect of cryotherapy on nerve conduction velocity, pain threshold and pain tolerance.* Online. British Journal of Sports Medicine. **41**(6), 365–369. ISSN 0306-3674. Dostupné z: doi:10.1136/bjism.2006.031237. [citováno 2024-02-24].
6. AMANN, Markus, 2015. *Autonomic responses to exercise: Group III/IV muscle afferents and fatigue.* Online. Autonomic Neuroscience. **188**, 19–23. ISSN 15660702. Dostupné z: doi:10.1016/j.autneu.2014.10.018. [citováno 2024-03-24].
7. ARTÉS, Arnau, Pau FERRER-RAMOS, 2024. *Effects of intermittent pneumatic compression on the recovery of cardiovascular parameters after repeated sprint exercise.* Online. European Journal of Applied Physiology. **124**(4), 1037–1048. ISSN 1439-6327. Dostupné z: doi:10.1007/s00421-023-05333-x. [citováno 2024-03-04].
8. AYUBI et al., 2022. *Effects of Curcumin on Inflammatory Response During Exercise-Induced Muscle Damage (Literature Review).* Online. Biointerface Research in Applied Chemistry. **13**(2), 146. ISSN 2069-5837. Dostupné z: doi:10.33263/BRIAC132.146. [citováno 2024-02-24].

9. BANGSBO, Jens, 2008. *The Yo-Yo intermittent recovery test: a useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports*. Online. Sports Medicine (Auckland, N.Z.). **38**(1), 37–51. ISSN 0112-1642. Dostupné z: doi:10.2165/00007256-200838010-00004. [citováno 2024-02-24].
10. BARCLAY, C. J., 2015. *Energetics of Contraction*. In: *Comprehensive Physiology* online. B.m.: John Wiley & Sons, Ltd, s. 961–995. ISBN 978-0-470-65071-4. Dostupné z: doi:10.1002/cphy.c140038. [citováno 2024-02-24].
11. BARTOL, V. et. al., 2022. *Influence of the sport specific training background on the symmetry of the single legged vertical counter movement jump among female ballet dancers and volleyball players*. Online. Heliyon. **8**(9), e10669. ISSN 2405-8440. Dostupné z: doi:10.1016/j.heliyon.2022.e10669. [citováno 2024-02-24].
12. BELLON, Myriam, Daphné MICHELET, 2019. *Efficacy of the Game Ready® cooling device on postoperative analgesia after scoliosis surgery in children*. Online. European Spine Journal. **28**(6), 1257–1264. ISSN 1432-0932. Dostupné z: doi:10.1007/s00586-019-05886-6. [citováno 2024-02-24].
13. BELSEY, James, Andrew REID, 2024. *A randomised crossover trial of five cryocompression devices' ability to reduce skin temperature of the knee*. Online. PLOS ONE. **19**(1), e0296634. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0296634. [citováno 2024-02-24].
14. BERTRAM, C.D., 2018. *Contraction of collecting lymphatics: organization of pressure-dependent rate for multiple lymphangions. Biomechanics and modeling in mechanobiology*. **17**(5), 1513–1532. ISSN 1617-7959. Dostupné z: doi:10.1007/s10237-018-1042-7. [citováno 2024-03-24].
15. BEZUGLOV, E., 2021. *The Prevalence of Use of Various Post-Exercise Recovery Methods after Training among Elite Endurance Athletes*. Online. International Journal of Environmental Research and Public Health. **18**(21), 11698. ISSN 1661-7827. Dostupné z: doi:10.3390/ijerph182111698. [citováno 2024-02-24].
16. BOMPA, Tudor O., 2019. *Periodization: theory and methodology of training*. Online. Champaign, IL: Human Kinetics. ISBN 978-1-4925-4480-7. [citováno 2024-02-24].
17. BONGERS, C. W. G., 2017. *Cooling interventions for athletes: An overview of effectiveness, physiological mechanisms, and practical considerations. Temperature*.

- Online. **4**(1), 60–78. ISSN 2332-8940. Dostupné z: doi:10.1080/23328940.2016.1277003. [citováno 2024-04-14].
18. BOUZIGON, Romain, Olivier DUPUY, 2021. *Cryostimulation for Post-exercise Recovery in Athletes: A Consensus and Position Paper*. Online. *Frontiers in Sports and Active Living*. **3**, 688828. ISSN 2624-9367. Dostupné z: doi:10.3389/fspor.2021.688828. [citováno 2024-04-14].
19. BOUZIGON, Romain, Frederic GRAPPE, Gilles RAVIER a Benoit DUGUE, 2016. *Whole- and partial-body cryostimulation/cryotherapy: Current technologies and practical applications*. Online. *Journal of Thermal Biology*. **61**, 67–81. ISSN 0306-4565. Dostupné z: doi:10.1016/j.jtherbio.2016.08.009. [citováno 2024-04-14].
20. BURNSTOCK, G., 2013. *Cotransmission in the autonomic nervous system*. Online. *Handbook of Clinical Neurology*. **117**, 23–35. ISSN 0072-9752. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-444-53491-0.00003-1. [citováno 2024-03-14].
21. CALLEJA-GONZÁLEZ, Julio, 2021. *Post-exercise Recovery Methods Focus on Young Soccer Players: A Systematic Review*. Online. *Frontiers in Physiology*. **12**, 505149. ISSN 1664-042X. Dostupné z: doi:10.3389/fphys.2021.505149
22. CAMERON, Michelle H., ed., 2018. *Physical agents in rehabilitation: an evidence-based approach to practice*. St. Louis, Mo: Elsevier/Saunders. ISBN 978-0-323-44567-2. [citováno 2024-04-14].
23. CARROLL, T. J., J. L. TAYLOR, 2017. *Recovery of central and peripheral neuromuscular fatigue after exercise*. Online. *Journal of Applied Physiology*. **122**(5), 1068–1076. ISSN 8750-7587. Dostupné z: doi:10.1152/jappphysiol.00775.2016. [citováno 2024-04-14].
24. CASTILLO, D. et. al., 2017. *Effects of the off-Season Period on Field and Assistant Soccer Referees Physical Performance*. Online. *Journal of Human Kinetics*. **2017**(56), 159–166. Dostupné z: doi:0.1515/hukin-2017-0033. [citováno 2024-04-14].
25. COCHRANE, D., H. BOOKER, 2013. *Does Intermittent Pneumatic Leg Compression Enhance Muscle Recovery after Strenuous Eccentric Exercise?* Online. *International Journal of Sports Medicine*. **34**(11), 969–974. ISSN 0172-4622, 1439-3964. Dostupné z: doi:10.1055/s-0033-1337944. [citováno 2024-04-14].

26. CUENI, Leah N., Michael DETMAR, 2008. *The Lymphatic System in Health and Disease*. Online. Lymphatic research and biology. **6**(3–4), 109–122. ISSN 1539-6851. Dostupné z: doi:10.1089/lrb.2008.1008. [citováno 2024-02-14].
27. CURTIS, Ryan M., Robert A. HUGGINS, 2020. *Contextual Factors Influencing External and Internal Training Loads in Collegiate Men's Soccer*. Online. The Journal of Strength & Conditioning Research. **34**(2), 374. ISSN 1064-8011. Dostupné z: doi:10.1519/JSC.0000000000003361. [citováno 2024-01-14].
28. DAVE, Heeransh D., Micah SHOOK, 2024. Anatomy, Skeletal Muscle. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Dostupné z: PMID: 30725921. [citováno 2024-02-14].
29. DE BIE, A. et. al., 2021. *Enhanced recovery after lumbar fusion surgery: Benefits of using Game Ready©*. Online. Orthopaedics & traumatology, surgery & research: OTSR. **107**(7), 102953. ISSN 1877-0568. Dostupné z: doi:10.1016/j.otsr.2021.102953[citováno 2024-04-14].
30. DELICCE, Anthony V., 2024. *Physiology, Frank Starling Law*. Online. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Dostupné z: PMID: 29262149.[citováno 2024-04-14].
31. DUBOIS, Blaise, Jean-Francois ESCULIER, 2020. *Soft-tissue injuries simply need PEACE and LOVE*. Online. British Journal of Sports Medicine. **54**(2), 72–73. ISSN 0306-3674, 1473-0480. Dostupné z: doi:10.1136/bjsports-2019-101253. [citováno 2024-04-14].
32. ELIŠKA, O., 2018. *Lymfologie*. 1. vydání. Praha: Galén, spol. s r.o. ISBN 978-80-7492-387-6. [citováno 2024-01-13].
33. ENOKA, R. M., 2008. *Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function*. Online. The Journal of Physiology. **586**(1), 11–23. ISSN 0022-3751. Dostupné z: doi:10.1113/jphysiol.2007.139477. [citováno 2024-04-14].
34. ENOKA, R. M., 2016. *Translating Fatigue to Human Performance*. Online. Medicine & Science in Sports & Exercise. **48**(11), 2228–2238. ISSN 0195-9131. Dostupné z: doi:10.1249/mss.0000000000000929. [citováno 2024-02-21].

35. FABBRI, Kristian, 2024. *Thermal comfort perception: a questionnaire approach focusing on children*. Second edition. Cham: Springer. ISBN 978-3-031-52610-7. [citováno 2024-02-21].
36. FÖLDI, M., 2014. *Lymfologie*. 1. české vyd. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4300-4. [citováno 2024-02-21].
37. FÖLDI, Michael, H. K. STRÖSSENREUTHER, 2005. *Foundations of manual lymph drainage*. 3rd ed. St. Louis, MO: Elsevier Mosby. ISBN 978-0-323-03064-9. [citováno 2024-02-22].
38. GAME READY WEBSITE, (2024). *Game Ready- Enveloppes Double Action*. Dostupné z: <https://www.gameready.fr/enveloppes/>[citováno 2024-03-21].
39. GANDEVIA, S. C., 2001. *Spinal and Supraspinal Factors in Human Muscle Fatigue*. Online. *Physiological Reviews*. **81**(4), 1725–1789. ISSN 0031-9333. Dostupné z: doi:10.1152/physrev.2001.81.4.1725. [citováno 2024-02-21].
40. GASH, Matthew C., Patricia F. KANDLE, Ian V. MURRAY a Matthew VARACALLO, 2024. *Physiology, Muscle Contraction*. Online. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Dostupné z: PMID: 30725825.[citováno 2024-02-21].
41. GAVINS, F. N. E., ed., 2020. *Lymphatic structure and function in health and disease*. Online. London, United Kingdom ; San Diego, CA, United States: Elsevier/Academic Press. ISBN 978-0-12-815645-2. [citováno 2024-02-21].
42. GAVINS, Felicity N. E. a J. Steven ALEXANDER, 2020. *Lymphatic structure and function in health and disease*. Online. London, United Kingdom: Academic Press is an imprint of Elsevier. ISBN 978-0-12-815646-9. [citováno 2024-02-21].
43. GILLIES, Allison R. a Richard L. LIEBER, 2011. *Structure and Function of the Skeletal Muscle Extracellular Matrix*. Online. *Muscle & nerve*. **44**(3), 318–331. ISSN 0148-639X. Dostupné z: doi:10.1002/mus.22094.[citováno 2024-03-02].
44. GOMEZ-CABRERA, Maria Carmen, Jose VIÑA a Li Li JI, 2016. *Role of Redox Signaling and Inflammation in Skeletal Muscle Adaptations to Training*. Online. *Antioxidants*. **5**(4), 48. ISSN 2076-3921. Dostupné z: doi:10.3390/antiox5040048. [citováno 2024-03-02].
45. GREENHOUSE-TUCKNOTT, Aaron a Jake B. BUTTERWORTH, 2022. *Effect of the subjective intensity of fatigue and interoception on perceptual regulation and*



- performance during sustained physical activity*. Online. PLoS ONE. **17**(1), e0262303. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0262303. [citováno 2024-03-02].
46. HAFF, G. et. al., ed., 2016. *Essentials of strength training and conditioning*. Fourth edition. Champaign, IL Windsor, ON Leeds: Human Kinetics. ISBN 978-1-4925-0162-6. [citováno 2024-03-02].
47. HALLER, Nils, Erik HÜBLER, 2022. *Evidence-Based Recovery in Soccer – Low-Effort Approaches for Practitioners*. Online. Journal of Human Kinetics. **82**, 75–99. ISSN 1640-5544. Dostupné z: doi:10.2478/hukin-2022-0082
48. HEAPY, Amanda M., Heidie H. VERHAGEN, 2018. *A randomized controlled trial of manual therapy and pneumatic compression for recovery from prolonged running - an extended study*. Online. Research in Sports Medicine (Print). **26**(3), 354–364. ISSN 1543-8635. Dostupné z: doi:10.1080/15438627.2018.1447469. [citováno 2024-03-02].
49. HERZOG, Walter, 2018. *The multiple roles of titin in muscle contraction and force production*. Online. Biophysical Reviews. **10**(4), 1187–1199. ISSN 1867-2450. Dostupné z: doi:10.1007/s12551-017-0395-y. [citováno 2024-03-02].
50. HOFFMAN, Martin D., 2016. *A Randomized Controlled Trial of Massage and Pneumatic Compression for Ultramarathon Recovery*. Online. The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy. **46**(5), 320–326. ISSN 1938-1344. Dostupné z: doi:10.2519/jospt.2016.6455. [citováno 2024-03-02].
51. HOHENAUER, E., 2015. *The Effect of Post-Exercise Cryotherapy on Recovery Characteristics: A Systematic Review and Meta-Analysis*. Online. PLOS ONE. **10**(9), e0139028. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0139028. [citováno 2024-03-02].
52. HSU, M. C., 2016. *Lymphatic Anatomy. Techniques in Vascular and Interventional Radiology*. Online. Lymphatic Interventions, **19**(4), 247–254. ISSN 1089-2516. Dostupné z: doi:10.1053/j.tvir.2016.10.003. [citováno 2024-03-02].
53. HUNTINGTON, George S., Charles F. W. MCCLURE, 1908. *Symposium on the development and structure of the lymphatic system. I. The anatomy and development of the jugular lymph sacs in the domestic cat (Felis dornestica)*. Online. The Anatomical

Record. **2**(1–2), 1–18. ISSN 0003-276X, 1097-0185. Dostupné z: doi:10.1002/ar.1090020102. [citováno 2024-03-02].

54. CHAKRABORTY, Sanjukta, Michael J. DAVIS, 2015. *Emerging trends in the pathophysiology of lymphatic contractile function*. Online. *Seminars in cell & developmental biology*. **38**, 55–66. ISSN 1084-9521. Dostupné z: doi:10.1016/j.semcdb.2015.01.005. [citováno 2024-03-02].

55. CHEN, Run-Peng, Qing-Hua WANG, Ming-Yue LI, Xiao-Fang SU, Dong-Yang WANG, Xing-Hui LIU a Zhi-Li LI, 2023. *Progress in diagnosis and treatment of acute injury to the anterior talofibular ligament*. Online. *World Journal of Clinical Cases*. **11**(15), 3395–3407. ISSN 2307-8960. Dostupné z: doi:10.12998/wjcc.v11.i15.3395. [citováno 2024-03-02].

56. JAMALIAN, S., 2017. *Demonstration and Analysis of the Suction Effect for Pumping Lymph from Tissue Beds at Subatmospheric Pressure*. Online. *Scientific Reports*. **7**, 12080. ISSN 2045-2322. Dostupné z: doi:10.1038/s41598-017-11599-x. [citováno 2024-03-02].

57. JONES, Dennis, Wang MIN, 2011. *An overview of lymphatic vessels and their emerging role in cardiovascular disease*. Online. *Journal of Cardiovascular Disease Research*. **2**(3), 141–152. ISSN 0975-3583. Dostupné z: doi:10.4103/0975-3583.85260. [citováno 2024-03-02].

58. KABLAN, Nilüfer, Nuray ALACA, 2021. *Comparison of the Immediate Effect of Petrissage Massage and Manual Lymph Drainage Following Exercise on Biomechanical and Viscoelastic Properties of the Rectus Femoris Muscle in Women*. Online. *Journal of Sport Rehabilitation*. **30**(5), 725–730. ISSN 1543-3072. Dostupné z: doi:10.1123/jsr.2020-0276. [citováno 2024-03-02].

59. KELLMANN, M., 2018. *Recovery and Performance in Sport: Consensus Statement*. Online. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. **13**(2), 240–245. ISSN 1555-0273. Dostupné z: doi:10.1123/ijsp.2017-0759. [citováno 2024-03-02].

60. KENNET, Jane, Natalie HARDAKER, 2007. *Cooling Efficiency of 4 Common Cryotherapeutic Agents*. Online. *Journal of Athletic Training*. **42**(3), 343–348. ISSN 1062-6050.

61. KITTNAR, O., 2020. *Lékařská fyziologie*. 2., přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-1963-4. [citováno 2024-03-02].
62. KRUSTRUP, P., 2003. *The Yo-Yo Intermittent Recovery Test: Physiological Response, Reliability, and Validity*. Online. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. **35**(4), 697. ISSN 0195-9131. Dostupné z: doi:10.1249/01.MSS.0000058441.94520.32. [citováno 2024-01-12].
63. KWIECIEN, Susan Y., Malachy P. MCHUGH, 2021. *The cold truth: the role of cryotherapy in the treatment of injury and recovery from exercise*. Online. *European Journal of Applied Physiology*. **121**(8), 2125–2142. ISSN 1439-6327. Dostupné z: doi:10.1007/s00421-021-04683-8. [citováno 2024-01-12].
64. LEBON, Vincent, Sylvie DUFOUR, 2001. *Effect of triiodothyronine on mitochondrial energy coupling in human skeletal muscle*. Online. *The Journal of Clinical Investigation*. **108**(5), 733–737. ISSN 0021-9738. Dostupné z: doi:10.1172/JCI11775. [citováno 2024-03-02].
65. LIBRETTI, Sabrina, 2024. *Physiology, Homeostasis*. Online. StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Dostupné z: PMID: 32644564.[citováno 2024-01-12].
66. LIZANA, Cristian, Felipe BELOZO, Thiago LOURENÇO, 2014. *Análise da potência aeróbia de futebolistas por meio de teste de campo e teste laboratorial*. Online. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. **20**, 447–450. Dostupné z: doi:10.1590/1517-86922014200601886. [citováno 2024-01-12].
67. MARCELLO, RICHARD T., LUCAS FORTINI a BEAU KJERULF GREER, 2019. *Intermittent Pneumatic Compression Boot Use Elevates Blood Lactate During Subsequent Exercise*. Online. *International Journal of Exercise Science*. **12**(2), 385–392. ISSN 1939-795X. [citováno 2024-01-12].
68. MARINO, Frank E., ed., 2008. *Thermoregulation and human performance: physiological and biological aspects*. Online. Basel ; New York: Karger. *Medicine and sport science*, v. 53. ISBN 978-3-8055-8648-1.
69. MAWHINNEY, Chris, Ilkka HEINONEN, 2020. *Changes in quadriceps femoris muscle perfusion following different degrees of cold-water immersion*. Online. *Journal of Applied Physiology*. **128**(5), 1392–1401. ISSN 8750-7587. Dostupné z: doi:10.1152/jappphysiol.00833.2019. [citováno 2024-02-12].

70. MCGRORY, B. J., 2000. *Peroneal nerve palsy following intermittent sequential pneumatic compression*. Online. Orthopedics. **23**(10), 1103–1105. ISSN 0147-7447. Dostupné z: doi:10.3928/0147-7447-20001001-29.[citováno 2024-01-12].
71. MENUET, Clément, 2008. *Muscle [phosphocreatine] dynamics during exercise: implication for understanding the regulation of muscle oxidative metabolism*. Online. The Journal of Physiology. **586**(Pt 13), 3027–3029. ISSN 0022-3751. Dostupné z: doi:10.1113/jphysiol.2008.154948. [citováno 2024-03-02].
72. MURGIER, J., X. CASSARD, 2014. *Cryotherapy with dynamic intermittent compression for analgesia after anterior cruciate ligament reconstruction. Preliminary study*. Online. Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research. **100**(3), 309–312. ISSN 1877-0568. Dostupné z: doi:10.1016/j.otsr.2013.12.019. [citováno 2024-03-02].
73. MUTHUCHAMY, M., 2003. *Molecular and functional analyses of the contractile apparatus in lymphatic muscle*. Online. The FASEB Journal. **17**(8), 1–25. ISSN 0892-6638, 1530-6860. Dostupné z: doi:10.1096/fj.02-0626fje. [citováno 2024-01-12].
74. NATALE, Gianfranco, Guido BOCCI, Domenico RIBATTI, 2017. *Scholars and scientists in the history of the lymphatic system*. Online. Journal of Anatomy. **231**(3), 417–429. ISSN 1469-7580. Dostupné z: doi:10.1111/joa.12644. [citováno 2024-03-02].
75. NAVRÁTIL, L. et. al., 2019. *Fyzikální léčebné metody pro praxi*. 1. vydání. Praha: Grada. ISBN 978-80-271-0478-9. [citováno 2023-09-02].
76. NULL, Manda, 2024. *Anatomy, Lymphatic System*. Online. StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Dostupné z: PMID: 30020619..[citováno 2024-03-02].
77. OLIVA-LOZANO, José M., Carlos D. GÓMEZ-CARMONA, 2022. *Effect of training day, match, and length of the microcycle on workload periodization in professional soccer players: a full-season study*. Online. Biology of Sport. **39**(2), 397–406. ISSN 0860-021X. Dostupné z: doi:10.5114/biolsport.2022.106148. [citováno 2023-09-02].
78. PEAKE, Jonathan, 2005. *Characterization of inflammatory responses to eccentric exercise in humans*. Online. Exercise Immunology Review. **11**, 64–85. ISSN 1077-5552. [citováno 2023-09-02].

79. PETROVA, Tatiana V., Gou Young KOH, 2020. *Biological functions of lymphatic vessels*. Online. Science. **369**(6500). Dostupné z: doi:10.1126/science.aax4063. [citováno 2023-11-09].
80. PILCH, U., M. WOZNIEWSKI, 2009. *Influence of compression cycle time and number of sleeve chambers on upper extremity lymphedema volume reduction during intermittent pneumatic compression*. Online. Lymphology. **42**(1), 26–35. ISSN 0024-7766. [citováno 2023-11-09].
81. PODĚBRADSKÝ, J., R. PODĚBRADSKÁ, 2009. *Fyzikální terapie: manuál a algoritmy*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-2899-5. [citováno 2023-11-09].
82. PORTER, Stuart, Johnny WILSON, ed., 2021. *A comprehensive guide to sports physiology and injury management: an interdisciplinary approach*. Online. London New York Oxford Philadelphia St Louis Sydney: Elsevier Health Sciences. ISBN 978-0-7020-7489-9. [citováno 2023-12-09].
83. PRITCHARD, Kimberly A., Susan A. SALIBA, 2014. *Should Athletes Return to Activity After Cryotherapy?* Online. Journal of Athletic Training. **49**(1), 95–96. ISSN 1062-6050. Dostupné z: doi:10.4085/1062-6050-48.3.13. [citováno 2023-09-02].
84. PURSLOW, Peter P., 2010. *Muscle fascia and force transmission*. Online. Journal of Bodywork and Movement Therapies. **14**(4), 411–417. ISSN 1360-8592, 1532-9283. Dostupné z: doi:10.1016/j.jbmt.2010.01.005. [citováno 2023-09-02].
85. PURSLOW, Peter P., 2020. *The Structure and Role of Intramuscular Connective Tissue in Muscle Function*. Online. Frontiers in Physiology. **11**, 495. ISSN 1664-042X. Dostupné z: doi:10.3389/fphys.2020.00495. [citováno 2023-09-02].
86. RABBANI, Alireza, Filipe Manuel CLEMENTE, Mehdi KARGARFARD a Karim CHAMARI, 2019. *Match Fatigue Time-Course Assessment Over Four Days: Usefulness of the Hooper Index and Heart Rate Variability in Professional Soccer Players*. Online. Frontiers in Physiology. **10**, 109. ISSN 1664-042X. Dostupné z: doi:10.3389/fphys.2019.00109. [citováno 2023-09-02].
87. RADÁK, Z., 2018. *The physiology of physical training*. London: Elsevier/Academic Press. ISBN 978-0-12-815137-2. [citováno 2023-09-02].

88. RAGO, V., 2018. *Countermovement Jump Analysis Using Different Portable Devices: Implications for Field Testing*. Online. *Sports*. **6**(3), 91. ISSN 2075-4663. Dostupné z: doi:10.3390/sports6030091. [citováno 2023-11-09].
89. REBELO, A., 2014. *Physical match performance of youth football players in relation to physical capacity*. Online. *European Journal of Sport Science*. **14**(sup1), S148–S156. ISSN 1746-1391. Dostupné z: doi:10.1080/17461391.2012.664171. [citováno 2023-11-09].
90. RIBATTI, Domenico, 2018. *Historical overview of lymphangiogenesis*. Online. *Current Opinion in Immunology*. **53**, 161–166. ISSN 0952-7915. Dostupné z: doi:10.1016/j.coi.2018.04.027. [citováno 2023-11-09].
91. RIBATTI, Domenico a Enrico CRIVELLATO, 2010. *The embryonic origins of lymphatic vessels: an historical review*. Online. *British Journal of Haematology*. **149**(5), 669–674. ISSN 1365-2141. Dostupné z: doi:10.1111/j.1365-2141.2009.08053.x. [citováno 2023-11-09].
92. SANDS, W. A. et. al., 2015. *Dynamic Compression Enhances Pressure-to-Pain Threshold in Elite Athlete Recovery: Exploratory Study*. Online. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. **29**(5), 1263. ISSN 1064-8011. Dostupné z: doi:10.1519/JSC.0000000000000412. [citováno 2023-09-02].
93. SCALLAN, J. P., 2016. *Lymphatic pumping: mechanics, mechanisms and malfunction: Lymphatic pumping mechanisms*. Online. *The Journal of Physiology*. **594**(20), 5749–5768. ISSN 00223751. Dostupné z: doi:10.1113/JP272088. [citováno 2024-02-12].
94. SCOUBEAU, Corentin a Julie CARPENTIER, 2023. *Body composition, cardiorespiratory fitness, and neuromuscular adaptations induced by a home-based whole-body high intensity interval training*. Online. *Journal of Exercise Science & Fitness*. **21**(2), 226–236. ISSN 1728-869X. Dostupné z: doi:10.1016/j.jesf.2023.02.004. [citováno 2024-02-12].
95. SHANE N. DRAPER, 2020. *Effects of Intermittent Pneumatic Compression on Delayed Onset Muscle Soreness (DOMS) in Long Distance Runners*. Online. *International Journal of Exercise Science*. **13**(2), 75–86. ISSN 1939-795X. [citováno 2024-02-12].

96. SCHMITZ, B., 2018. *The Yo-Yo Intermittent Tests: A Systematic Review and Structured Compendium of Test Results*. Online. *Frontiers in Physiology*. **9**, 870. ISSN 1664-042X. Dostupné z: doi:10.3389/fphys.2018.00870. [citováno 2024-04-12].
97. SCHNEIDER, Martin, Karim OTHMAN-HASSAN, Bodo CHRIST a Jörg WILTING, 1999. *Lymphangioblasts in the avian wing bud*. Online *Developmental Dynamics*. **216**(4–5), 311–319. ISSN 1097-0177. Dostupné z: doi:10.1002/(SICI)1097-0177(199912)216:4/5<311::AID-DVDY1>3.0.CO;2-M. [citováno 2024-03-12].
98. SIDHU, Simranjit K., Andrew G. CRESSWELL, Timothy J. CARROLL, 2013. *Corticospinal Responses to Sustained Locomotor Exercises: Moving Beyond Single-Joint Studies of Central Fatigue*. Online. *Sports Medicine*. **43**(6), 437–449. ISSN 1179-2035. Dostupné z: doi:10.1007/s40279-013-0020-6. [citováno 2024-02-12].
99. SMITH, Nicholas P., Christopher J. BARCLAY, Denis S. LOISELLE, 2005. *The efficiency of muscle contraction*. Online. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*. **88**(1), 1–58. ISSN 0079-6107. Dostupné z: doi:10.1016/j.pbiomolbio.2003.11.014. [citováno 2024-04-12].
100. SOUKUP, Petr, 2013. *Substantive significance and its measures*. Online. *Data and Research – SDA Info*. **127**(2), 125. ISSN 23362391. Dostupné z: doi:10.13060/23362391.2013.127.2.41. [citováno 2024-02-12].
101. STEDGE, H. L., 2021. *The Effects of Intermittent Pneumatic Compression on the Reduction of Exercise-Induced Muscle Damage in Endurance Athletes: A Critically Appraised Topic*. Online. *Journal of Sport Rehabilitation*. **30**(4), 668–671. ISSN 1056-6716. Dostupné z: doi:10.1123/jsr.2020-0364. [citováno 2024-04-12].
102. STEDGE, Hannah L., Kirk ARMSTRONG, 2021. *The Effects of Intermittent Pneumatic Compression on the Reduction of Exercise-Induced Muscle Damage in Endurance Athletes: A Critically Appraised Topic*. Online. *Journal of Sport Rehabilitation*. **30**(4), 668–671. ISSN 1543-3072, 1056-6716. Dostupné z: doi:10.1123/jsr.2020-0364. [citováno 2024-04-12].
103. SUZUKI, Katsuhiko, Takaki TOMINAGA, 2020. *Characterization and Modulation of Systemic Inflammatory Response to Exhaustive Exercise in Relation to Oxidative Stress*. Online. *Antioxidants*. **9**(5), 401. ISSN 2076-3921. Dostupné z: doi:10.3390/antiox9050401. [citováno 2024-02-12].

104. SWEENEY, H. Lee, 2018. *Muscle Contraction*. Online. Cold Spring Harbor Perspectives in Biology. **10**(2), a023200. ISSN 1943-0264. Dostupné z: doi:10.1101/cshperspect.a023200. [citováno 2024-02-12].
105. TANSEY, E. A., 2015. *Recent advances in thermoregulation*. Online. Advances in Physiology Education. **39**(3), 139–148. ISSN 1043-4046. Dostupné z: doi:10.1152/advan.00126.2014. [citováno 2024-04-13].
106. THAU, Lauren, 2024. *Physiology, Cortisol*. Online. StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Dostupné z: PMID: 30855827..[citováno 2024-04-13].
107. THOMAS, A., 2006. *The yo-yo test: reliability and association with a 20-m shuttle run and VO<sub>2</sub>max*. Online. International Journal of Sports Physiology and Performance. **1**(2), 137–149. ISSN 1555-0265. Dostupné z: doi:10.1123/ijsp.1.2.137. [citováno 2024-04-13].
108. THORPE, Robin T., Anthony J. STRUDWICK, Martin BUCHHEIT, Greg ATKINSON, Barry DRUST a Warren GREGSON, 2015. *Monitoring Fatigue During the In-Season Competitive Phase in Elite Soccer Players*. Online. International Journal of Sports Physiology and Performance. **10**(8), 958–964. ISSN 1555-0273. Dostupné z: doi:10.1123/ijsp.2015-0004. [citováno 2024-04-13].
109. TORNERO-AGUILERA, José Francisco, Jorge JIMENEZ-MORCILLO, 2022. *Central and Peripheral Fatigue in Physical Exercise Explained: A Narrative Review*. Online. International Journal of Environmental Research and Public Health]. **19**(7), 3909. ISSN 1661-7827. Dostupné z: doi:10.3390/ijerph19073909. [citováno 2024-04-13].
110. WAKABAYASHI, Takeyuki, 2015. *Mechanism of the calcium-regulation of muscle contraction — In pursuit of its structural basis —*. Online. Proceedings of the Japan Academy. Series B, Physical and Biological Sciences. **91**(7), 321–350. ISSN 0386-2208. Dostupné z: doi:10.2183/pjab.91.321. [citováno 2024-04-13].
111. WAKELING, James M., Stephanie A. ROSS, David S. RYAN, Bart BOLSTERLEE, Ryan KONNO, Sebastián DOMÍNGUEZ a Nilima NIGAM, 2020. *The Energy of Muscle Contraction. I. Tissue Force and Deformation During Fixed-End Contractions*. Online. Frontiers in Physiology. **11**, 813. ISSN 1664-042X. Dostupné z: doi:10.3389/fphys.2020.00813. [citováno 2024-04-13].



112. WALKER, Owen, 2016. *Countermovement Jump (CMJ)*. Online. Science for Sport [vid. 2024-04-16]. Dostupné z: <https://www.scienceforsport.com/countermovement-jump-cmj/>. [citováno 2024-04-13].
113. WIECHA, Szczepan, Martyna JAROCKA, 2021. *The efficacy of intermittent pneumatic compression and negative pressure therapy on muscle function, soreness and serum indices of muscle damage: a randomized controlled trial*. Online. BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation. **13**, 144. ISSN 2052-1847. Dostupné z: doi:10.1186/s13102-021-00373-2. [citováno 2024-04-13].
114. WIGLE, Jeffrey T., Natasha HARVEY, 2002. *An essential role for Prox1 in the induction of the lymphatic endothelial cell phenotype*. Online. The EMBO Journal. **21**(7), 1505–1513. ISSN 0261-4189. Dostupné z: doi:10.1093/emboj/21.7.1505. [citováno 2024-04-13].
115. WIIG, Helge, 2012. *Interstitial Fluid and Lymph Formation and Transport: Physiological Regulation and Roles in Inflammation and Cancer*. Online. Physiological Reviews. **92**(3), 1005–1060. ISSN 0031-9333. Dostupné z: doi:10.1152/physrev.00037.2011. [citováno 2024-04-13].
116. WILCOCK, I. M., 2006. *Physiological response to water immersion: a method for sport recovery?* Online. Sports Medicine. **36**(9), 747–765. ISSN 0112-1642. Dostupné z: doi:10.2165/00007256-200636090-00003. [citováno 2024-04-19].
117. WITTLINGER, Hildegard, 2013. *Manuální lymfodrenáž podle dr. Voddera: praktický průvodce*. 1. české vyd. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4084-3. [citováno 2024-04-13].
118. WON, Yu Hui, Myoung-Hwan KO, Dong Hyun KIM, 2021. *Intermittent pneumatic compression for prolonged standing workers with leg edema and pain*. Online. Medicine. **100**(28), e26639. ISSN 0025-7974. Dostupné z: doi:10.1097/MD.00000000000026639. [citováno 2024-04-13].
119. WRIGHT, Russell C., Stephan V. YACOUBIAN, 2010. *Sequential Compression Device May Cause Peroneal Nerve Palsy*. Online. Orthopedics. **33**(6), 1–3. Dostupné z: doi:10.3928/01477447-20100429-32. [citováno 2024-04-13].

120. YANG, Ying, Guillermo OLIVER, 2014. *Development of the mammalian lymphatic vasculature*. Online. The Journal of Clinical Investigation. **124**(3), 888–897. ISSN 0021-9738. Dostupné z: doi:10.1172/JCI71609. [citováno 2024-04-13].

121. YI, Cannan a Huali ZUO, 2022. *Fatigue and Recovery of Muscles for Pulling Tasks*. Online. International Journal of Environmental Research and Public Health. **19**(22), 15159. ISSN 1661-7827. Dostupné z: doi:10.3390/ijerph192215159. [citováno 2024-04-13].

122. ZAJĄC, Adam, Małgorzata CHALIMONIUK, 2015. *Central and Peripheral Fatigue During Resistance Exercise – A Critical Review*. Online. Journal of Human Kinetics. **49**, 159–169. ISSN 1640-5544. Dostupné z: doi:10.1515/hukin-2015-0118. [citováno 2024-04-13].

123. ZAWIEJA, David C., 2009. *Contractile Physiology of Lymphatics*. Online. Lymphatic Research and Biology. **7**(2), 87–96. ISSN 1539-6851. Dostupné z: doi:10.1089/lrb.2009.0007. [citováno 2024-04-13].

124. ZEMAN, M., 2013. *Základy fyzikální terapie*. 1. vydání. České Budějovice: Jihočeská univerzita. ISBN 80-7394-403-0. [citováno 2024-04-13].

## 9 Seznam použitých obrázků

Obrázek 1: Dolní končetina se schématickým znázorněním MDL, (Kablan et al., 2021) .....	22
Obrázek 2: Jednotlivé fáze a správná technika provedení CMJ formou hands on (Walker 2016).....	28
Obrázek 3: Schématické znázornění podstaty správného plánování zátěže (zdroj vlastní) .....	29
Obrázek 4: Schématické znázornění fází superkompenzace (Bompa 2019).....	31
Obrázek 5: Grafické znázornění posloupnosti časové osy mikrocyklu (zdroj vlastní) ..	32
Obrázek 6: Grafické znázornění fází nafukování jednotlivých zón nohavic (Shane N. Draper 2020).....	36
Obrázek 7 Diagram postupu výběru probandů (zdroj: vlastní) .....	46
Obrázek 8: Fáze CMJ znázorňující správné technické provedení (zdroj: vlastní) .....	47
Obrázek 9: Znázornění YOYO IR1 testování (Lizana et al. 2014) .....	49
Obrázek 10: Fotografie základní jednotky, zásobníku na led a nohavic (Zdroj: Game Ready 2024).....	50
Obrázek 11: Metodika sběru dat na časové ose .....	52

## 10 Seznam použitých grafů

Graf 1: Týmové zastoupení jednotlivých probandů v rámci výzkumu (n=21) .....	55
Graf 2: Týmové zastoupení probandů napříč experimentálními skupinami (n=21).....	56
Graf 3: Grafické znázornění % rozdílů průměrných hodnot CMJ kontrolní skupiny (n=7) .....	58
Graf 4: Grafické znázornění % rozdílů průměrných hodnot CMJ kompresní skupiny (n=7) .....	60
Graf 5: Grafické znázornění % rozdílů průměrných hodnot CMJ kryo-kompresní skupiny (n=7).....	62
Graf 6: Grafické znázornění % rozdílů průměrných hodnot CMJ kontrolní a kompresní skupiny (n=14).....	64
Graf 7: Grafické znázornění % rozdílů průměrných hodnot CMJ kontrolní a kryo- kompresní skupiny (n=14).....	66
Graf 8: Grafické znázornění % rozdílů průměrných hodnot CMJ kompresní a kryo- kompresní skupiny (n=14).....	68
Graf 9: Grafické znázornění % rozdílů průměrných hodnot CMJ kryo-kompresní a kontrolní skupiny po intervenci (n=14) .....	70

## 11 Seznam použitých tabulek

Tabulka 1: Popisná statistika výzkumného souboru (n=21).....	54
Tabulka 2: Popisná data probandů jednotlivých skupin (n=21) .....	55
Tabulka 3: Párový T-test kontrolní skupiny (n=7) .....	57
Tabulka 4: Deskriptivní statistika kontrolní skupiny (n=7).....	57
Tabulka 5: Deskriptivní statistika kompresní skupiny (n=7) .....	59
Tabulka 6: Párový Wilcoxonův test (n=7).....	59
Tabulka 7: Deskriptivní statistika kryo-kompresní skupiny (n=7).....	61
Tabulka 8: Párový T-test kompresní skupiny (n=7) .....	61
Tabulka 9: Deskriptivní statistika H4 (n=14) .....	63
Tabulka 10: T-test dvou nezávislých výběrů H4 (n=14) .....	63
Tabulka 11: Deskriptivní statistika H5 (n=14) .....	65
Tabulka 12: T-test dvou nezávislých výběrů H5 (n=14) .....	65
Tabulka 13: Deskriptivní statistika H6 (n=14) .....	67
Tabulka 14: T-test dvou nezávislých výběrů H6 (n=14) .....	67
Tabulka 15: Deskriptivní statistika H7 (n=14) .....	69
Tabulka 16: Mann-Whitney test H7 (n=14) .....	69

## **12 Seznam příloh**

Příloha č. 1 - Etická komise

Příloha č. 2 Informovaný souhlas

Příloha č. 3 Vzorový Hooper-Index dotazník

Příloha č. 4 Grafy

Příloha č. 5 Tabulky

# Přílohy

## Příloha č. 1 - Etická komise

UNIVERZITA KARLOVA  
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU  
Josef Martího 31, 162 52 Praha 6-Vešleslavín

### Žádost o vyjádření Etické komise UK FTVS

k projektu výzkumné, kvalifikační či seminární práce zahrnující lidské účastníky

**Název projektu:** Vliv intermitentní kompresní terapie na svalovou únavu fotbalistů

**Forma projektu:** výzkumná práce - diplomová práce

**Období realizace:** prosinec 2023 až duben 2024

Výzkum bude realizován v souladu s platnými epidemiologickými opatřeními Ministerstva zdravotnictví ČR.

**Předkladatel:** Bc. Michaela Farová

**Hlavní řešitel:** Bc. Michaela Farová

**Místo výzkumu (pracoviště):** Fakulta tělesné výchovy a sportu UK, laboratoř biomechaniky extrémních zátěží, atletický stadion areálu UK FTVS nebo na kryté dráze v areálu FTVS

**Spoluřešitel(é):** -

**Vedoucí práce (v případě studentské práce):** PhDr. Helena Vomáčková, Ph.D.

**Finanční podpora:**

**Popis projektu:** Tento projekt je experimentální. V této práci se budu zabývat vlivem intermitentní kompresní terapie dvou typů na svalovou únavu po maximální fyzické zátěži dle protokolu. První typ intermitentní kompresní terapie je pneumatická kompresní terapie od firmy Normatec 3.0 a druhým typem je kombinace pneumatické terapie s kryoterapií s technologií Game Ready. Výzkumný soubor bude tedy rozdělen na 3 skupiny podle druhu komprese a třetí skupina bude kontrolní pouze s pasivním odpočinkem bez intervence pneumatickou intermitentní kompresí. Experiment bude prováděn na předpokládaných 15 - 21 probandech, kteří podstoupí vyšetření v tomto pořadí: warm up, Counter Movement Jump (CMJ) formou hands on, test na maximální zátěž dle protokolu, CMJ, intermitentní intervence kompresní terapií bilaterálně na dolní končetiny či pasivní odpočinek, CMJ ihned po intervenci a CMJ s odstupem 24h.

**Charakteristika účastníků výzkumu:** Výzkumný soubor bude zastoupen předpokládaným počtem 15 - 21 probandů mužského pohlaví ve věkovém rozmezí 15 až 25 let. Probandi se věnují fotbalu na výkonnostní úrovni. Kritéria pro zařazení: Probandi musí být registrováni v daném fotbalovém klubu registrovaném pod FAČR a musí být aktivními hráči. Mezi vylučná kritéria účasti v této studii patří onemocnění lymfatického systému, zánětlivé či jiné onemocnění 4 týdny před experimentem ovlivňující fyzickou zdatnost a tréninkové nasazení probanda a diagnostikované muskuloskeletální zranění v době 4 měsíců před experimentem. Do projektu nemůže být zařazen proband, který bude mít zranění, akutní infekční onemocnění nebo proband s jakýmkoliv onemocněním či omezením pohybového aparátu a v rekonvalescenci po onemocnění či úrazu. Probandy do výzkumu bude vybírat hlavní řešitelka ve spolupráci s vedoucí práce. Potencionální probandi budou oslovováni skrze vlastní kontakty.

**Zajištění bezpečnosti:** Jedná se o neinvazivní metody. Rizika účasti v tomto výzkumu je možnost pádu při CMJ a maximálním testování na atletickém stadionu. Bezpečnost bude zajišťovat hlavní řešitelka a pracovníci laboratoře. Riziko představuje také vznik svalového zranění během maximálního testování. Tato rizika budou minimalizována přítomností proškolených pracovníků laboratoře a budou zajištěny adekvátní podmínky prostředí a adekvátní podmínky pro přípravu probandů ve smyslu dostatečné časové dotace na rozvíjení před samotným testováním. Za příznivého počasí bude probíhat YOYO IRI na atletickém stadionu FTVS. V případě nepřízně se testování přesune do prostor FTVS, kde se nachází krytá atletická dráha. Tím dojde k výšší bezpečnosti probandů před uklouznutím či poraněním. Bezpečnost bude zaručena výběrem probandů dle kritérií. Rizika prováděného výzkumu nebudou vyšší než běžně očekávaná rizika u aktivit a testování prováděných v rámci tohoto typu výzkumu. Bezpečnost zajistím standardním způsobem.

**Etické aspekty výzkumu:** Někteří z účastníků patří do vulnerabilní skupiny nezletilých. Věkovou skupinu nezletilých, konkrétně probandů ve věku 15 - 17 let obohatí tento výzkum ze zdravotní hlediska budováním správných návyků sportovce v oblasti regenerace, dále je možné zjistit dle výsledků hodnot testování, zdali je jedinec dostatečně fyzicky připraven v porovnáním s průměrnými hodnotami v jeho věkové skupině.

**Potenciální střet zájmů:** Výzkum není prováděn pro instituci či organizaci. Nejsem v pracovně právním ani rodinném vztahu k žádnému potenciálnímu účastníkovi. K prodejcům či výrobcům přístrojů pro kompresivní intermitentní terapii nemám blízký vztah. Výzkum bude objektivní. Neexistuje žádná skutečnost, která by mohla ovlivnit objektivitu výzkumu. Nemám soukromý zájem na výsledku výzkumu a ani výzkum nevede k osobnímu prospěchu. Vedoucí práce bude dohlížet nad korektností a nestranností posuzování výsledků výzkumu mou osobou. Neexistuje žádná skutečnost, která by mohla ohrozit integritu a důvěryhodnost výzkumu.

**Ochrana osobních dat:** Data budou shromažďována a zpracovávána v souladu s pravidly vymezenými nařízením Evropské Unie č. 2016/679 a zákonem č. 110/2019 Sb. – o zpracování osobních údajů. Budou získávány následující osobní údaje: jméno, příjmení, kontakt, ročník narození, kompletní anamnéza, data získaná výše popsanými metodami - které budou bezpečně uchovány na heslem zajištěném počítači v uzamčeném prostoru. Přístup k nim bude mít hlavní řešitel a vedoucí práce.

Uvědomuji si, že text je anonymizován, neobsahuje-li jakékoli informace, které jednotlivě či ve svém souhrnu mohou vést k identifikaci konkrétní osoby – budu dbát na to, aby jednotliví účastníci nebyli rozpoznatelní v textu práce. Osobní data, která by vedla k identifikaci účastníků výzkumu, budou do 3. dne po testování anonymizována.

Získaná data budou zpracovávána, bezpečně uchována a publikována v anonymní podobě v diplomové práci, případně v odborných časopisech, monografiích a prezentována na konferencích, případně budou využita při další výzkumné práci na UK FTVS.

**Požizování fotografií/videí/audio nahrávek účastníků:**

Během výzkumu budou pořizovány pouze fotografie některého z účastníků.

**Fotografie:** Publikovány budou pouze anonymizované fotografie. Anonymizace osob na fotografiích bude provedena rozmazáním/začerněním obličejů či znaků, které by mohly vést k identifikaci jedince. Neanonymizované fotografie budou uloženy v zaheslovaném počítači hlavního řešitele v uzamčeném prostoru a budou bezprostředně do 1 týdne po vyfotografování osob smazány. K neanonymizovaným fotografiím bude mít přístup hlavní řešitel a vedoucí diplomové práce.


V maximální možné míře zajistím, aby získaná data nebyla zneužita.

**Text informovaného souhlasu (IS):** příložen

Povinností všech účastníků výzkumu na straně řešitele je chránit život, zdraví, důstojnost, integritu, právo na sebeurčení, soukromí a osobní data zkoumaných subjektů, a podniknout k tomu veškerá preventivní opatření. Odpovědnost za ochranu zkoumaných subjektů leží vždy na účastnících výzkumu na straně řešitele, nikdy na zkoumaných, byť dali svůj souhlas k účasti na výzkumu. Všichni účastníci výzkumu na straně řešitele musí brát v potaz etické, právní a regulační normy a standardy výzkumu na lidských subjektech, které platí v České republice, stejně jako ty, jež platí mezinárodně.

Potvrzuji, že tento popis projektu odpovídá návrhu realizace projektu a že při jakékoli změně projektu, zejména použitých metod, zašlu Etické komisi UK FTVS revidovanou žádost.

V Praze dne: 12. 12. 2023

Podpis předkladatele: 

Datum a podpis odpovědného pracovníka z místa výzkumu:

### Vyjádření Etické komise UK FTVS

**Složení komise: Předsedkyně:** doc. PhDr. Irena Parry Martínková, Ph.D.

**Členové:** prof. MUDr. Jan Heller, CSc.

prof. PhDr. Pavel Slepíčka, DrSc.

PhDr. Pavel Hráský, Ph.D.

Mgr. Eva Prokešová, Ph.D.

Mgr. Tomáš Ruda, Ph.D.

MUDr. Simona Majorová


Projekt práce byl schválen Etickou komisí UK FTVS pod jednacím číslem: 092/2023

dne: 14. 12. 2023

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

Řešitel projektu splnil podmínky nutné k získání souhlasu Etické komise UK FTVS.

UNIVERZITA KARLOVA  
Fakulta tělesné výchovy a sportu  
Josef Martího 31, 162 52, Praha 6  
razítko UK FTVS

  
podpis předsedkyně EK UK FTVS



## Příloha č. 2 Informovaný souhlas

UNIVERZITA KARLOVA  
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU  
Josef Martího 31, 162 52 Praha 6-Vešelavín

### INFORMOVANÝ SOUHLAS k žádosti 92/2023

Vážený pane, vážená paní,

v souladu se Všeobecnou deklarací lidských práv, nařízením Evropské Unie č. 2016/679 a zákonem č. 110/2019 Sb. – o zpracování osobních údajů a dalšími obecně závaznými právními předpisy (*jakož jsou zejména Helsinská deklarace, přijatá 18. Světovým zdravotnickým shromážděním v roce 1964 ve znění pozdějších změn (Fortaleza, Brazílie, 2013); Zákon o zdravotních službách a podmínkách jejich poskytování (zejména ustanovení § 28 odst. 1 zákona č. 372/2011 Sb.) a Úmluva o lidských právech a biomedicině č. 96/2001, jsou-li aplikovatelné*), Vás žádám o souhlas s Vaší účastí ve výzkumném projektu na UK FTVS v rámci diplomové práce s názvem „**Vliv intermitentní kompresní terapie na svalovou únavu u fotbalistů**“ prováděné na Fakultě tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy v laboratoři biomechaniky extrémních zátěží a na atletickém stadionu v areálu UK FTVS, případně na kryté dráze.

Projekt bude probíhat v období: od prosince 2023 do dubna 2024

Výzkum bude realizován v souladu s platnými epidemiologickými opatřeními Ministerstva zdravotnictví ČR.

Projekt není financován.

Cílem výzkumného projektu je zjistit, jestli aplikace intermitentní komprese bez přidružené terapie chladem a s kombinací terapie chlazením, může ovlivnit parametry svalové únavy po maximální fyzické zátěži. Dále je cílem zmapovat, která z terapií bude pro případnou regeneraci nejhodnější.

Výzkum bude neinvazivní. Budete se účastnit **testování**: Counter Movement Jump (CMJ) neboli vyšetření vertikálního výskoku a také fyzického testu tzv. „YOYO IRI test“ k zajištění únavy na maximální úrovni. Jedná se o vytrvalostní člunkový běh. Běhá se na trati dlouhé 20 metrů, od čáry k čáře. Po absolvování celkem 40 metrů je zde 10 sekundový interval pro absolvování 10 m v nižší intenzitě. Dané úseky musí být dokončeny v postupně zkracujících se časových intervalech, které jsou rozpoznány podle zvukové signalizace, a to po celou dobu. Po tomto testu bude znovu následovat CMJ (vertikální výskok).

Po výše zmíněném testování CMJ a fyzickém zátěžovém „YOYO IRI testu“ Vám bude na základě náhodného výběru přiřazen způsob **terapie**, a to buď:

- 1) Intermitentní komprese Normatec 3.0 (30 minutová terapie) – kompresivní nohavice s přerušovaným pneumatickým tlakem
- 2) Intermitentní komprese spojena s terapií chladem Game Ready (30 minutová terapie) – do kompresivních nohavic s přerušovaným pneumatickým tlakem je přidatně připojena základní jednotka, která v nohavících rozvádí studenou vodu. Jedná se tedy o kombinaci tlaku a chladu působícího jako terapie.
- 3) Pasivní odpočinek bez kompresní terapie.

Bezprostředně po náhodně přiřazené terapii se bude opakovat CMJ (vertikální výskok) a další testování CMJ (vertikálního výskoku) bude následovat druhý den přibližně 24h od testování. Celkem se tedy budete účastnit 4 měření vertikálního výskoku, kdy v rámci jednoho měření musíte absolvovat 3 výskoky pro zjištění průměrných hodnot. Dále se budete účastnit 1 zátěžového „beep testu“ a 1 terapie.

Časová náročnost projektu: celková doba je odhadována na zhruba 2 hodiny, počet opakování CMJ testu je celkem 9x první den výzkumu a 3x druhý den výzkumu po 24h (celková časová dotace je 40 minut pro všechna opakování dohromady), fyzické testování „YOYO IRI test“ bude pouze jednou (max. 30 minut), terapie či pasivní odpočinek bude 30 minut.

Rizika účasti v tomto výzkumu je možnost pádu při vertikálním výskoku a fyzickém testování. Bezpečnost bude zajišťovat hlavní řešitelka a pracovníci laboratoře. Riziko také představuje vznik svalového zranění během fyzického testování. Tato rizika budou minimalizována přítomností proškolených pracovníků laboratoří a budou zajištěny adekvátní podmínky prostředí a adekvátní podmínky pro přípravu probandů ve smyslu dostatečné časové dotace na rozcvičení před samotným testováním. Bezpečnost bude zaručena výběrem probandů dle kritérií. Metoda dosažení maximální fyzické zátěže může způsobit určité nepohodlí dané úsilím a možným svalovým vyčerpáním. Při vyšetření je principiálně nemožné minimalizovat pocity únavy a celkového vyčerpání.

Nepohodlí je požadovanou součástí protokolu, které bude ihned po ukončení zmíněno aplikací kompresní terapie. Rizika prováděného výzkumu nebudou vyšší než běžně očekávaná rizika u aktivit a testování prováděných v rámci tohoto typu výzkumu. Bezpečnost zajistím standardním způsobem.

UNIVERZITA KARLOVA  
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU  
Josef Martího 31, 162 52 Praha 6-Vešelavín

Za příznivého počasí bude probíhat YOYO IRI test na atletickém stadionu FTVS. V případě nepřízně se testování přesune do prostor FTVS, kde se nachází krytá atletická dráha. Tím dojde k zvýšení bezpečnosti probandů před uklouznutím či poraněním.

Projektu se nemohou účastnit osoby s onemocněním lymfatického systému, zánětlivé či jiné onemocnění 4 týdny před experimentem ovlivňující fyzickou zdatnost a tréninkové nasazení probanda a diagnostikované muskuloskeletální zranění v době 4 měsíců před experimentem, s akutním (zejména infekčním) onemocněním nebo proband s jakýmkoliv onemocněním či omezením pohybového aparátu a v rekonvalescenci po onemocnění či úrazu. Projektu se nemohou účastnit osoby, které nejsou registrovány u FAČR.

Vaše účast v projektu je dobrovolná a nebude finančně ohodnocena. Přínosem tohoto výzkumného projektu pro Vás bude zjištění výšky vertikálního výskoku, úrovně Vaší fyzické kondice na základě vyhodnocení fyzického testování, intermitentní kompresivní terapie zdarma v případě výběru do jedné ze dvou skupin s touto terapií. Hlavním očekávaným přínosem je možné zjištění, jak zlepšit regenerace během celého roku. Odměna za Vaši účast v projektu výsledky vertikálního výskoku a fyzického testování do třetího dne po absolvování (poté budou anonymizována a Vaše data již nebude možno identifikovat). Výsledek celého projektu přinese informace o účinnosti kompresní terapie či kompresní terapie skombinované s chladem, a tato data mohou být využita jako možnost nové regenerace pro hráče během náročné tréninkové periodizace.

Data budou shromažďována a zpracovávána v souladu s pravidly vymezenými nařízením Evropské Unie č. 2016/679 a zákonem č. 110/2019 Sb. – o zpracování osobních údajů. Budou získávány následující osobní údaje: jméno, příjmení, ročník narození, kontakt, kompletní anamnéza, data získaná výše popsanými metodami – které budou bezpečně uchovány na heslem zajištěném počítači v uzamčeném prostoru. Přístup k nim bude mít hlavní řešitel a vedoucí práce.

Uvědomuji si, že text je anonymizován, neobsahuje-li jakékoli informace, které jednotlivě či ve svém souhrnu mohou vést k identifikaci konkrétní osoby – budu dbát na to, aby jednotliví účastníci nebyli rozpoznatelní v textu práce. Osobní data, která by vedla k identifikaci účastníků výzkumu, budou do 3. dne po testování anonymizována.

Získaná data budou zpracovávána, bezpečně uchována a publikována v anonymní podobě v diplomové práci, případně v odborných časopisech, monografiích a prezentována na konferencích, případně budou využita při další výzkumné práci na UK FTVS.

**Fotografie:** Anonymizace osob na fotografiích bude provedena rozmazáním/začerněním obličejů či znaků, které by mohly vést k identifikaci jedince. Neanonymizované fotografie budou uloženy v zaheslovaném počítači hlavního řešitele v uzamčeném prostoru a budou bezprostředně do 1 týdne po vyfotografování osob smazány. K neanonymizovaným fotografiím bude mít přístup hlavní řešitel a vedoucí diplomové práce. Publikovány budou pouze anonymizované fotografie.

S celkovými výsledky a závěry výzkumného projektu se můžete seznámit v diplomové práci v studentském informačním systému (SIS), nebo na e-mailové adrese: michaela.far@seznam.cz

V maximální možné míře zajistím, aby získaná data nebyla zneužita.

Jméno a příjmení předkladatele a hlavního řešitele projektu: Bc. Michaela Farová

Jméno a příjmení osoby, která provedla poučení: Michaela Farová Podpis:.....

Prohlašuji a svým níže uvedeným vlastnoručním podpisem potvrzuji, že dobrovolně souhlasím s účastí ve výše uvedeném projektu a že jsem měl(a) možnost si řádně a v dostatečném čase zvážit všechny relevantní informace o výzkumu, zeptat se na vše podstatné týkající se účasti ve výzkumu a že jsem dostal(a) jasné a srozumitelné odpovědi na své dotazy. **Potvrzuji, že mám platnou zdravotní prohlídku bez omezení způsobilosti k pohybovým aktivitám.** Byl(a) jsem poučen(a) o právu odmítnout účast ve výzkumném projektu nebo svůj souhlas kdykoli odvolat bez represí, a to písemně Etické komisi UK FTVS, která bude následně informovat předkladatele projektu. Dále potvrzuji, že mi byl předán jeden originál vyhotovení tohoto informovaného souhlasu.

Místo, datum .....

Jméno, příjmení účastníka/zákonného zástupce..... Podpis: .....

## Příloha č. 3 Vzorový Hooper Index dotazník

NAME \_\_\_\_\_ TEAM \_\_\_\_\_



### Hooper & MacKinnon Questionnaire

Answer the following 5 questions as truthfully as possible based on the way you feel. After reading each question, choose an answer on a scale of 1-7. A score of 1 indicates good/fine/no problem, whereas a score of 7 means bad.



Question	Description
How fatigued are you?	1 No fatigue
	2 Minimal fatigue
	3 Better than normal
	4 Normal
	5 Worse than normal
	6 Very fatigued
	7 Exhausted - major fatigue

Question	Description
How was your sleep last night?	1 Outstanding
	2 Very good
	3 Better than normal
	4 Worse than normal
	5 Disrupted
	6 Horrible - no sleep

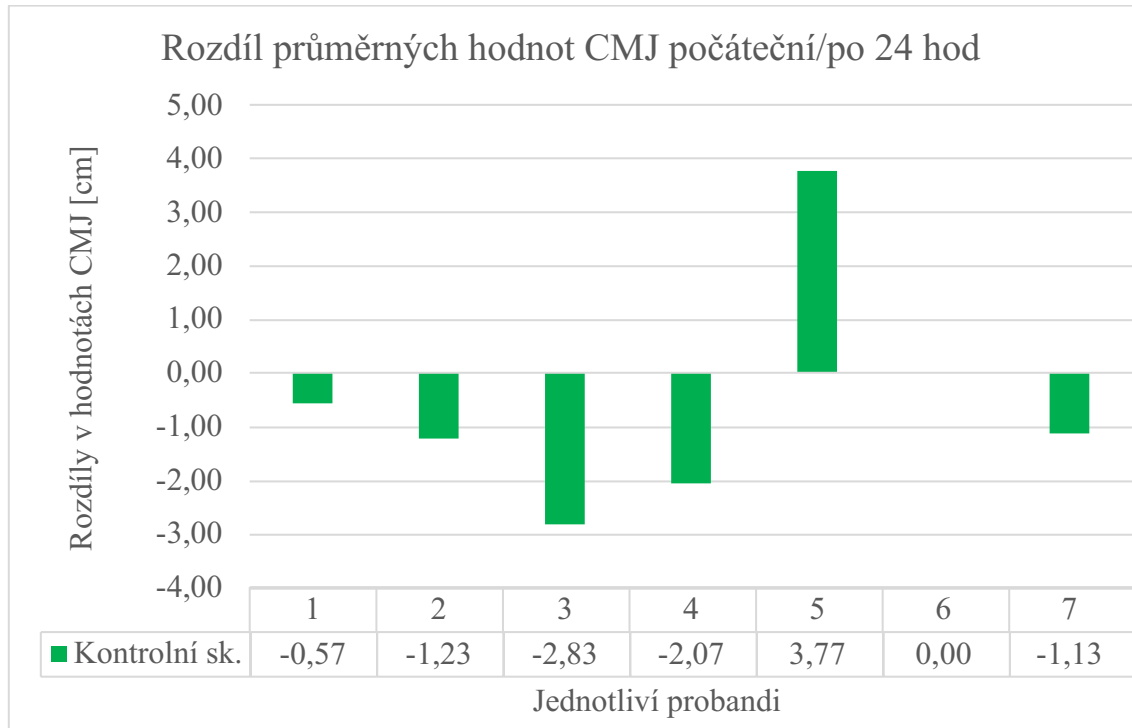
Question	Description
How many hours did you sleep last night?	1 10 +
	2 9-10
	3 8-9
	4 8
	5 7-8
	6 5-7
	7 5 or less

Question	Description
Please rate your level of muscle soreness	1 No soreness
	2 Very little soreness
	3 Better than normal
	4 Normal
	5 Worse than normal
	6 Very sore/tight
	7 Extremely sore/tight

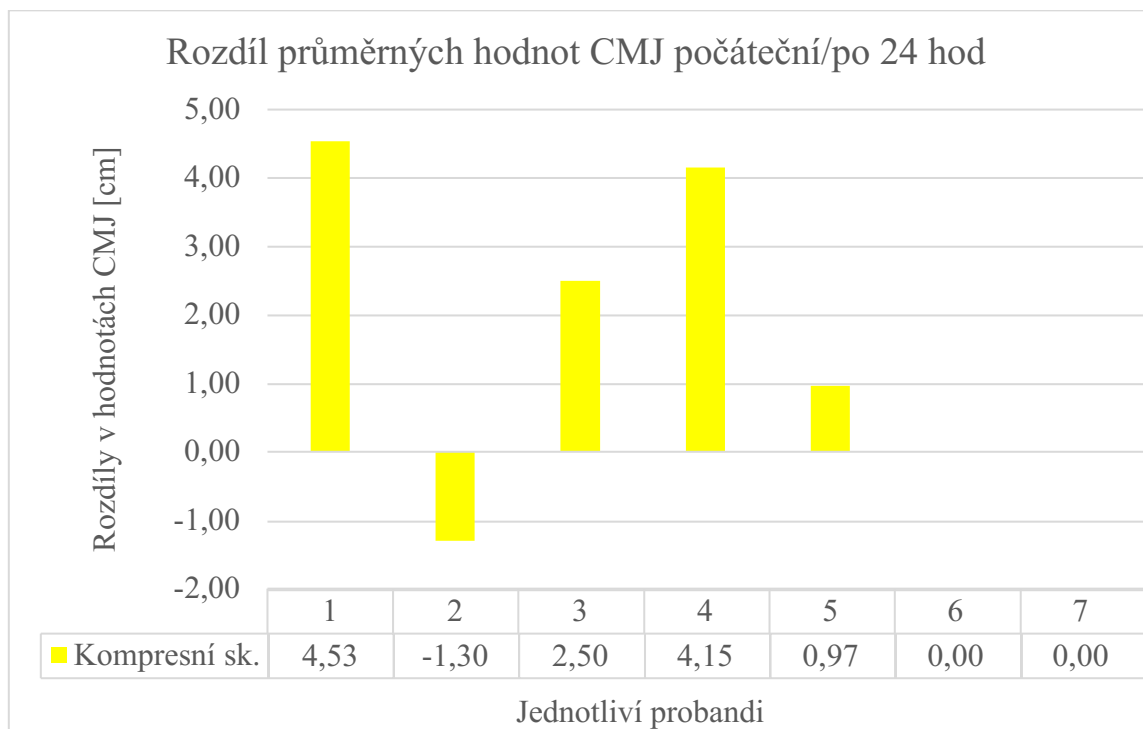
Question	Description
How are you feeling psychologically (Mentally)?	1 Feeling great - very relaxed
	2 Feeling good - relaxed
	3 Better than normal
	4 Normal
	5 Worse than normal
	6 Stressed
	7 Very Stressed
<b>Total</b>	

## Příloha č. 4 Grafy

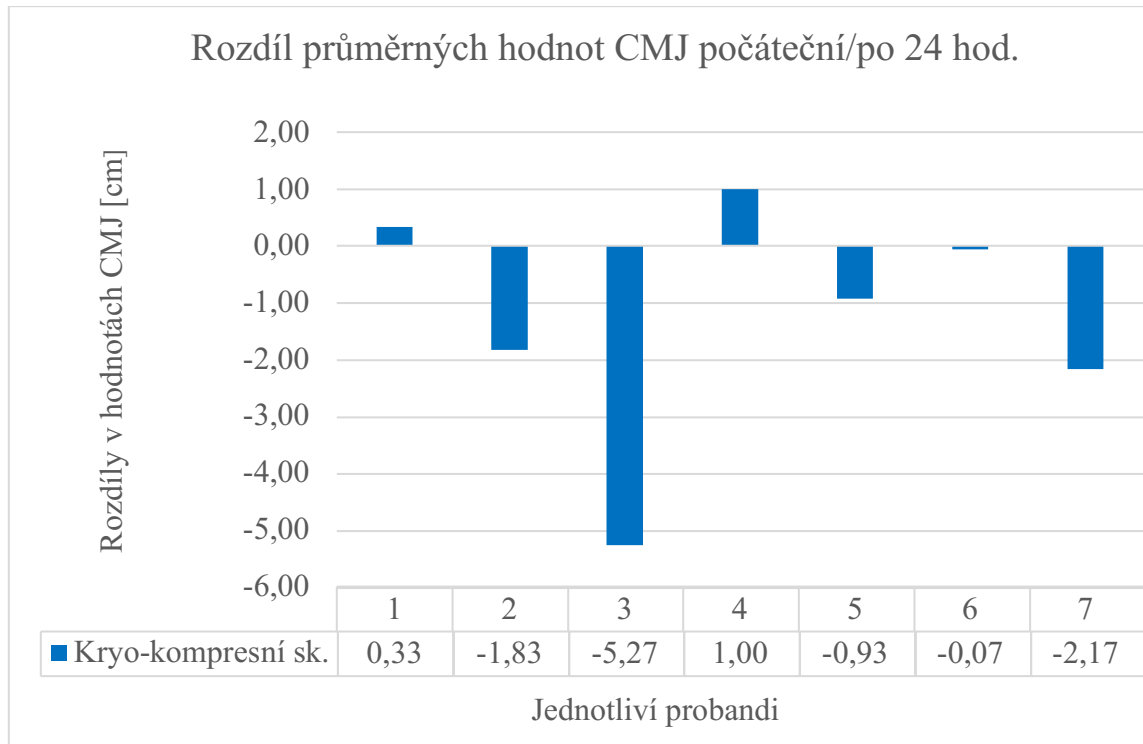
Graf 1: Grafické zobrazení průměrných rozdílů jednotlivých probandů kontrolní skupiny v centimetrech (n=7)



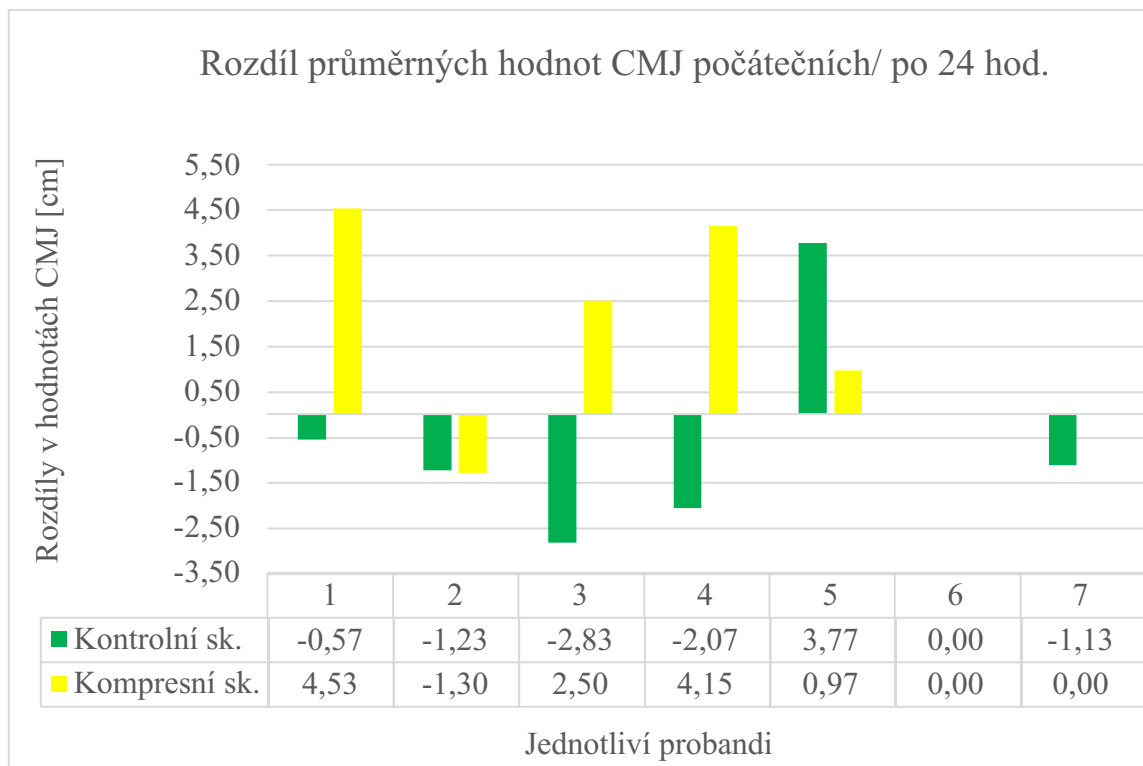
Graf 2: Grafické zobrazení průměrných rozdílů jednotlivých probandů kompresní skupiny v centimetrech (n=7)



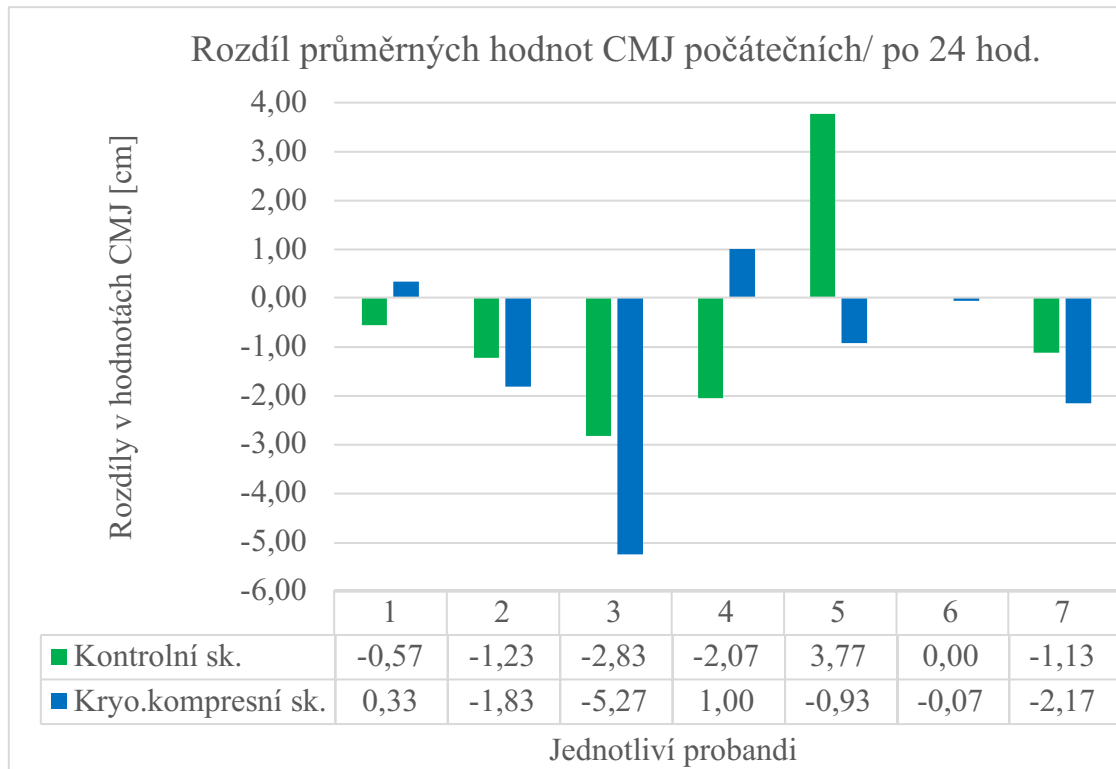
Graf 3: Grafické zobrazení průměrných rozdílů jednotlivých probandů kryo-kompresní skupiny v centimetrech (n=7)



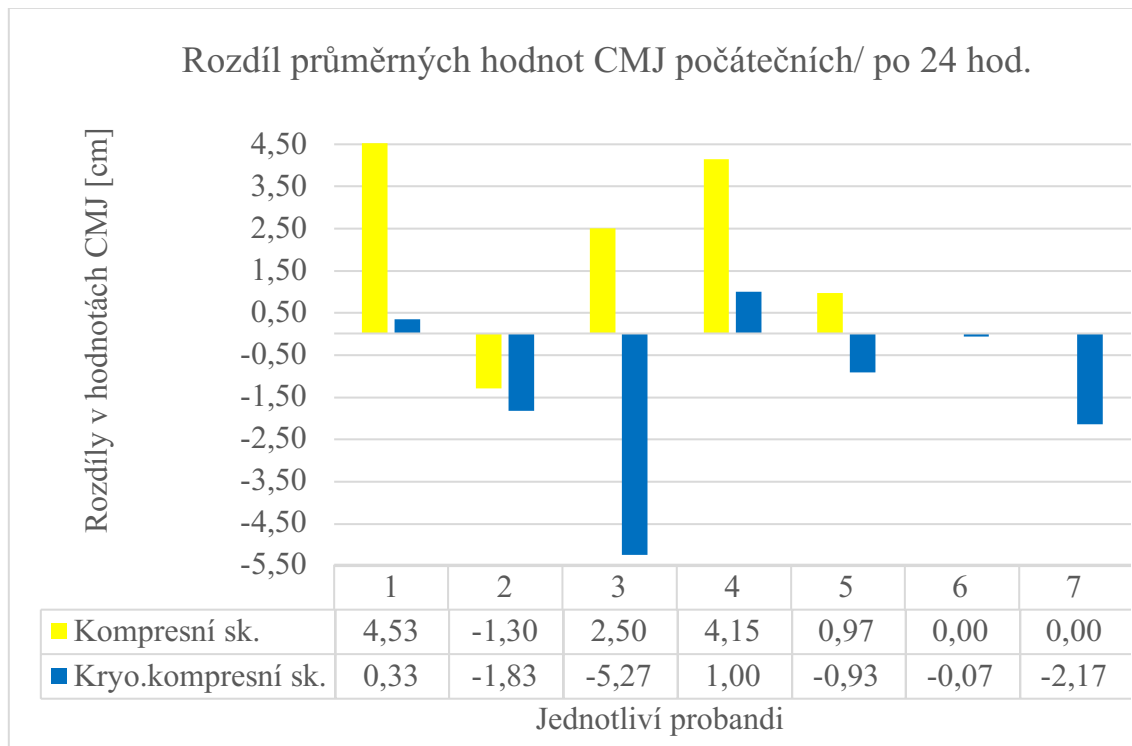
Graf 4: Grafické zobrazení průměrných rozdílů jednotlivých probandů kontrolní a kompresní skupiny v centimetrech (n=14)



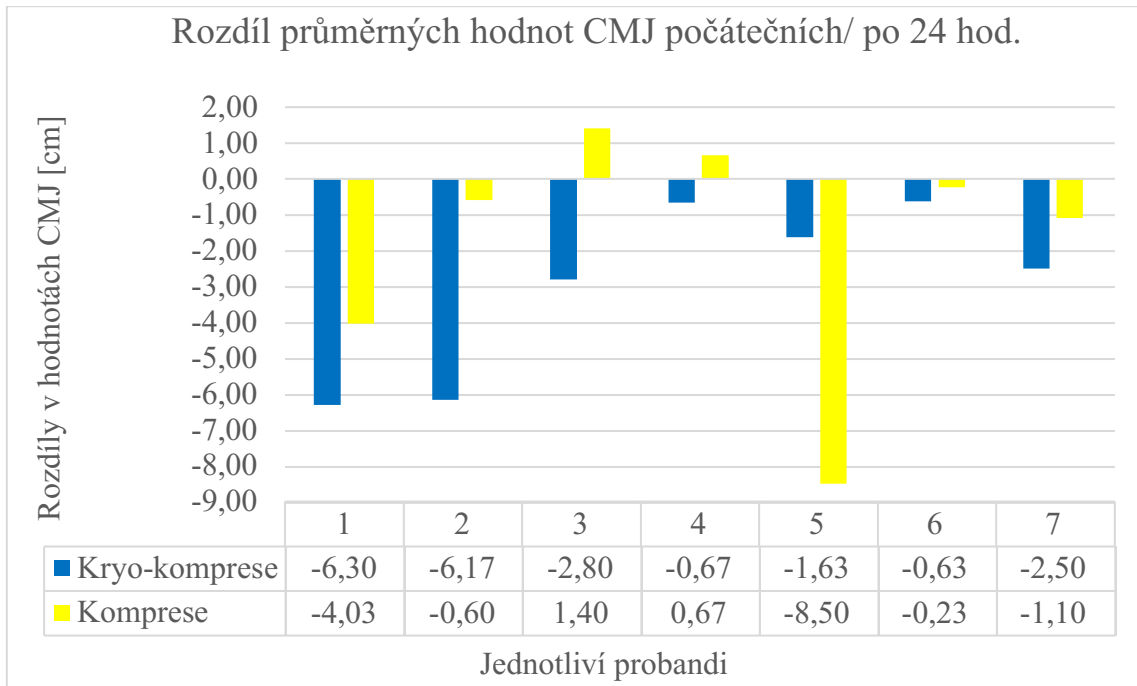
Graf 5: Grafické zobrazení rozdílů probandů kontrolní a kryo-kompresní skupiny v centimetrech (n=14)



Graf 6: Grafické zobrazení rozdílů probandů kompresní a kryo-kompresní skupiny v centimetrech (n=14)



Graf 7: Grafické zobrazení rozdílů jednotlivých probandů před a po kryo-kompresní a kompresní intervenci v centimetrech (n=14)



## Příloha č. 5 Tabulky

Tabulka 1: Shapiro-Wilk testování hypotéz s výsledky

Tests of Normality	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.
H1 počáteční	0,891	7	0,279
H1 po 24 hod.	0,902	7	0,343
H2 počáteční	0,850	7	0,123
H2 po 24 hod.	0,738	7	0,010
H3 počáteční	0,878	7	0,219
H3 po 24 hod.	0,950	7	0,734
H4	0,910	14	0,160
H5	0,957	14	0,667
H6	0,959	14	0,714
H7	0,807	14	0,006

Legenda: df=stupně volnosti, Sig.=hladina významnosti; zeleně označená Sig. = nenormální rozložení dat, červeně označená Sig. = normální rozložení dat

Tabulka 2: Přehled výsledků Cohenovo testu pro 1. až 3. hypotézu (n=7, 7, 7)

Paired Samples Effect Sizes					
		Standardizer <sup>a</sup>	Point Estimate	95% Confidence Interval	
				Lower	Upper
H1	Cohen's d	2,1311497	0,273	-0,494	1,018
H2	Cohen's d	2,0967978	0,609	-0,225	1,402
H3	Cohen's d	2,2297442	-0,695	-1,508	0,161

Legenda: Standardizer<sup>a</sup> = směrodatná odchylka efektových velikostí, Point Estimate = velikost efektu, 95 % confidence interval = interval spolehlivosti, lower = nižší, upper = vyšší



Tabulka 3: Přehled výsledků Cohenovo testu pro 4. až 7. hypotézu (n=14, 14, 14, 14)

Independent Samples Effect Sizes					
		Standardizer <sup>a</sup>	Point Estimate	95% Confidence Interval	
				Lower	Upper
H4	Cohen's d	2,1140435	0,329	-0,734	1,378
	Hedges' correction	2,2587339	0,308	-0,687	1,290
H5	Cohen's d	2,1810041	0,977	-2,076	0,157
	Hedges' correction	2,3302775	-0,914	-1,943	0,147
H6	Cohen's d	2,1642920	1,306	0,116	2,452
	Hedges' correction	2,3124216	1,222	0,109	2,295
H7	Cohen's d	2,8466633	-0,164	-1,210	0,889
	Hedges' correction	3,0414960	-0,153	-1,133	0,832

Legenda: Standardizera = směrodatná odchylka efektových velikostí, Point Estimate = velikost efektu, 95 % confidence interval = interval spolehlivosti, lower = nižší, upper = vyšší, Hedges' correction = směrodatná odchylka průměru rozdílů