

UNIVERZITA KARLOVA
Fakulta tělesné výchovy a sportu

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2022

Bc. Bohuslav Cabrnch

UNIVERZITA KARLOVA
Fakulta tělesné výchovy a sportu

**Pokles srdeční frekvence po zatížení jakožto prediktor pro hodnotu $VO_2\text{max}$
a anaerobní práh**
Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:
PhDr. Pavel Hráský, Ph.D.

Vypracoval:
Bc. Bohuslav Cabrnch

Praha, 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně pod odborným vedením PhDr. Pavla Hráského, Ph.D. a výhradně s využitím citovaných pramenů literatury a dalších informačních zdrojů. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne.....

.....

Bohuslav Cabrnch

Evidenční list

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

Jméno a příjmení:

Fakulta/katedra:

Datum vypůjčení:

Podpis:

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé práce PhDr. Pavlu Hráskému, PhD. za odborné vedení, pomoc a trpělivost při zpracování této diplomové práce. Poděkování patří též mé rodině za neochvějnou podporu a pomoc, jež mi při psaní poskytovala.

Abstrakt

Název: Pokles srdeční frekvence po zatížení jakožto prediktor pro hodnotu VO₂max a anaerobní práh

Cíle: Cílem práce bylo determinovat statistickou závislost mezi maximálními hodnotami VO₂max při standardizovaném zatížení s poklesem srdeční frekvence po maximálním zatížení a funkčními hodnotami anaerobního prahu.

Metody: Výzkumný soubor tvořilo 10 zdravých sportovně aktivních mužů, studujících na UK FTVS. Probandům byl před samotným testováním změřen krevní tlak, hmotnost a výška. Následně jim byla nasazena silikonová spiroergometrická maska a hrudní pás pro měření srdeční frekvence. Po vystoupení na běžecký ergometr byla provedena spirometrie (FEV1/FVC) ve stoje a MV (1 minuta) v sedě. V rozcvičení probandi absolvovali běh po dobu 4 minut (11 km/h, 0° sklon). V 5. minutě byl sklon nastaven na 5°. Od 6. minuty byla rychlost pásu běžeckého ergometru navýšena každou minutu o 1 km/h až do volního vyčerpání probanda. Po ukončení běhu byl proband usazen a po dobu 5 minut byla měřena srdeční frekvence spolu se spirometrií.

Výsledky: Přestože se prokázala pozitivní korelace mezi poklesem srdeční frekvence po 30 s maximálního zatížení a maximálními hodnotami VO₂max, není tato korelace ($r = 0,51$) dostatečně silná na generalizaci a zobecnění výsledků. Mezi funkčními parametry na úrovni anaerobního prahu a poklesem srdeční frekvence či maximálními hodnotami VO₂max nebyla determinována žádná statistická závislost.

Klíčová slova: Zatížení, adaptace, utilizace kyslíku, rychlost regenerace

Abstract

Title: Heart rate recovery as a predictor for VO₂max and anaerobic threshold

Objectives: The aim of the study was to determine the statistical relationship between the maximum VO₂max values at standardized loading, with a decrease in heart rate after maximal loading, and functional anaerobic threshold values.

Methods: Ten healthy men, aged 22-26 years, participated in the testing. The probands had their blood pressure, weight and height measured before testing. Subsequently, they were fitted with a silicone spiro-ergometric mask and chest belt to measure heart rate. After stepping on the treadmill ergometer, standing spirometry (FEV1/FVC) and minute ventilation in sitting were performed. In the warm-up, probands completed a run for 4 minutes (11 km/h, 0° incline). In 5th minute the incline was set to 5°. From the 6th minute onwards, the speed of the treadmill ergometer was increased by 1 km/h every minute until the proband could not continue. After the run, the proband was seated and heart rate was measured for 5 minutes along with spirometry.

Results: Although there was a positive correlation between the heart rate recovery after 30 s, 90 s and 240 s after maximal load and peak values of VO₂max, these correlation ($r = 0,51$, $r = 0,49$, $r = 0,53$) are not strong enough to generalize the results. No statistical dependence was determined between functional parameters at the level of anaerobic threshold and heart rate recovery or VO₂max peak values.

Key words: load, adaptation, oxygen utilization, regeneration rate

Obsah

OBSAH	8
1 ÚVOD	1
2 TEORETICKÁ ČÁST	2
2.1 FYZIOLOGIE ZATÍŽENÍ A ZATĚŽOVÁNÍ	2
2.1.1 KARDIOVASKULÁRNÍ SYSTÉM	2
2.1.1.1 <i>Reaktivní a adaptační změny oběhového systému na zatížení</i>	2
2.1.1.2 <i>Neurohumorální regulace</i>	6
2.1.1.3 <i>Reaktivní změny v krvi při pracovním zatížení</i>	8
2.1.1.4 <i>Reaktivní změny v krevní plazmě</i>	8
2.1.1.5 <i>Adaptace vnitřního prostředí na zatěžování</i>	9
2.1.2 DÝCHACÍ SYSTÉM	9
2.1.2.1 <i>Plicní objemy a kapacity</i>	10
2.1.2.2 <i>Plicní adaptace na zatížení</i>	11
2.1.2.3 <i>Reaktivní a adaptační změny dýchacího systému na zatížení</i>	12
2.1.2.4 <i>Kyslíkový deficit, kyslíkový dluh</i>	14
2.1.2.5 <i>Spotřeba kyslíku, maximální spotřeba kyslíku</i>	14
2.1.2.6 <i>Aerobní, anaerobní práh</i>	15
2.1.3. CENTRÁLNÍ NERVOVÁ SOUSTAVA	15
2.1.3.1 <i>Somatické a vegetativní nervové regulace, hormonální regulace při zatížení a v zotavení</i>	17
2.1.4 BIOCHEMICKÉ ZMĚNY	19
2.1.4.1 <i>Přeměna makroergních substrátů jako energetických zdrojů pro obnovu ATP a proces uplatňování jednotlivých zón energetického krytí v závislosti na intenzitě a době trvání svalové činnosti</i>	19
2.1.4.2 <i>Biochemie svalové kontrakce a metabolické pochody, kterými svalová buňka získává energii pro svou činnost, limity kapacity těchto pochodů</i>	23
2.1.4.3 <i>Dělení svalové tkáně, svalová tkáň, akční potenciál myokardu</i>	24
2.1.4.4 <i>Využívání zdrojů energie ve svalu v závislosti na intenzitě a době trvání výkonu</i> ..	27
2.1.4.5 <i>Bazální metabolismus, pracovní metabolismus</i>	27
2.1.4.6 <i>Metabolismus tukové tkáně při zatížení a v zotavení</i>	29
2.1.4.7 <i>Jaterní tkáň při zatížení a v zotavení</i>	29
2.1.4.8 <i>Metabolismus svalové tkáně a její adaptace na různé typy fyzického zatěžování</i> ...	30
2.2 SRDEČNÍ FREKVENCE	31
2.2.1 MĚŘENÍ SRDEČNÍ FREKVENCE	32
2.2.2 ZÁTĚŽOVÉ TESTY	32
2.3 VO ₂ MAX	34
2.3.1 ZÁTĚŽOVÉ TESTY POUŽÍVANÉ PRO PREDIKCI A MĚŘENÍ VO ₂ MAX	35
3 CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY	39
4 METODIKA PRÁCE	40

5 VÝSLEDKY	42
5.1 ANTROPOMETRICKÉ PARAMETRY	42
5.2 VZTAH POKLESU SRDEČNÍ FREKVENCE A VO₂MAX	42
5.1 VZTAH FUNKČNÍCH PARAMETRŮ NA ÚROVNI ANAEROBNÍHO PRAHU A VO₂MAX	47
6 DISKUZE	48
MAXIMÁLNÍ SPOTŘEBA KYSLÍKU A POKLES SRDEČNÍ FREKVENCE	48
7 ZÁVĚR	51
8 REFERENČNÍ SEZNAM	52
SEZNAM GRAFŮ.....	59
SEZNAM TABULEK	60
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	61
9 PŘÍLOHY	62

1 Úvod

Srdeční frekvence jakožto funkční parametr zatížení je mezi sportovci hojně používán k určení intenzity zatížení, jelikož díky hodnotě srdeční frekvence mají prakticky okamžitou zpětnou vazbu. Tento parametr je používán nejen mezi elitními sportovci, hlavně u vytrvalostních sportů, jako je běh, triatlon apod., ale i mezi rekreačními sportovci díky vysoké dostupnosti zařízení, jež jsou schopna měřit srdeční frekvenci (SF) v reálném čase a dnes již s relativně nízkou chybovostí. Oproti tomu maximální využití a utilizace kyslíku (VO_{2max}), což je funkční parametr vypovídající o zdatnosti jedince, je v terénních podmínkách složitě měřitelný a pro rekreační sportovce je jeho přesná i přibližná hodnota těžce dosažitelná. Přestože existují testy, díky kterým lze na základě výsledků a predikčních rovnic spočítat do určité míry hodnotu VO_{2max} , nejsou tyto testy vždy vypovídající. V této práci je možné najít testy, díky kterým bychom měli být schopni spočítat či odvodit VO_{2max} a to, zda je možné za pomoci poklesu srdeční frekvence po maximálním zatížení predikovat hodnoty maximálního využití kyslíku či hodnoty anaerobního (laktátového) prahu.

2 Teoretická část

2.1 Fyziologie zatížení a zatěžování

Zatížení je základním atributem tréninkového procesu, který za určitých podmínek iniciuje adaptační odezvu organismu. *„Za zatížení se považuje pohybová činnost, která je vykonávána tak, že vyvolává žádoucí aktuální změnu funkční aktivity člověka a ve svém důsledku trvalejší funkční, strukturální a psycho-sociální změny“* (Lehnert a kol., 2001).

Zatěžování je záměrné dlouhodobé a kumulované působení tréninkových podnětů na organismus s cílem zvyšovat výkonnost, která je z fyziologického hlediska výsledkem působení dlouhodobých adaptačních mechanismů (Coffey; Hawley, 2007).

„Stres je chápán jako mobilizace různých funkcí organismu člověka. Tyto aktuální změny se projevují např. vzestupem dýchání, srdeční a oběhové činnosti, zvýšením katecholaminů, zvláště adrenalinu v krvi, zesíleným transportem energetických zdrojů, zvýšením svalového napětí apod.“ (Dovalil; Choutka, 2012).

2.1.1 Kardiovaskulární systém

2.1.1.1 Reaktivní a adaptační změny oběhového systému na zatížení

Během fyzické aktivity sdílí některé orgány potřebu zvýšené perfuse. Srdce musí dodávat adekvátní objem krve pro kontrakci sebe sama a zároveň pro kontrakci kosterních svalů. Průtok krve do mozku musí být neustále udržován a kožní perfuse se musí rozšířit pro umožnění rozptýlení metabolického tepla. Během zatížení se srdeční výdej, srdeční frekvence, spotřeba kyslíku a systolický krevní tlak lineárně zvyšují dle intenzity zatížení (Davison, 2022).

„Předpokladem pro svalovou práci, s výjimkou velmi krátkého výkonu, je zajištění přísunu kyslíku a živin do činných svalů, stejně jako odsun katabolitů. Tuto funkci zajišťuje transportní kardiorespirační systém“ (Havlíčková, 1999).

Reaktivní změny při zatížení představují redistribuci krve do svalů, zvýšení ukazatelů oběhových funkcí (Bartůňková, 2010). Tyto změny mají podle své lokalizace složku periferní a složku centrální. Centrální složkou je srdce, motor celého systému, pracující jako pumpa. Mezi ukazatele jeho činnosti řadíme srdeční frekvenci (SF), systolický objem srdeční (Qs) a minutový objem srdeční (Q). Pro tyto ukazatele platí vzájemný vztah $Q = SF \cdot Qs$ (Havlíčková, 1999).

V úvodní fázi, fázi před samotným výkonem, nastává zvýšení srdeční frekvence vlivem podmíněných reflexů a emocí. Zvýšená aktivita primárního centra v sinusovém uzlíku je vyvolávána impulsy z kůry mozkové, podkorových oblastí a sympatikotonickým drážděním. U netrénovaných jedinců převládají spíše emoce, u trénovaných jedinců více podmíněné reflexy, spojené se svalovou činností, vznikající na podkladě předchozí zkušenosti (Havlíčková, 1999).

V průvodní fázi pokračují změny již při vlastním výkonu. Srdeční frekvence nejprve stoupá rychle (iniciační část), později se zpomaluje, až se ustálí na hodnotách odpovídajících podávanému výkonu (homeostatická část). Jedná se o setrvalý stav (z angl. „steady-state“). V této fázi změn se uplatňují jak reflexy podmíněné mající vztah ke svalové činnosti, tak i reflexy nepodmíněné vycházející ze svalových proprioreceptorů, z volných nervových zakončení v extracelulární tekutině a z cévních baroreceptorů. Na změnách se podílejí i další faktory, jako je tělesná teplota, hormonální a látkové změny v krvi apod. (Havlíčková, 1999).

V následné fázi, fázi po samotném výkonu, nastává návrat srdeční frekvence k výchozím hodnotám. Křivka návratu je nejdříve strmá, později je pozvolnější. Rychlost návratu je závislá na převaze jedné či druhé části vegetativního systému. Návrat ke klidovým hodnotám je rychlejší u vagotoniků. V této fázi jsou uplatňovány nepodmíněné reflexy, stejně jako různé vlivy látkové, vycházející ze svalů a signalizující potřebu rychlého odplavení katabolitů a doplnění energetických zásob (Havlíčková, 1999). Heart rate recovery (HRR) je výše popsáný děj, jedná se o návrat srdeční frekvence ke klidovým hodnotám po čase stráveném pod určitým stresem (Shetler a kol., 2001).

Systolický objem srdeční neboli tepový objem srdeční stoupá z klidových 60–80 ml na hodnoty 120–150 ml, nejprve rychleji, později pomalu. Maximálních hodnot však dosahuje při srdeční frekvenci 110–120 tepů za minutu, což je pouze

35–40 % maximální kyslíkové spotřeby. Do maximálního zatížení už zůstává neměnný. Hodnoty systolického objemu při zátěži jsou závislé na rozměrech srdce, kontraktilitě myokardu, plnění dutin a periferní rezistenci (Havličková, 1999).

Minutový objem srdeční se zvyšuje spolu s intenzitou zatížení, citlivě reaguje na zvyšující se požadavky kyslíkové spotřeby. Vztah mezi minutovým objemem srdečním a spotřebou kyslíku je lineární. Při velmi náročném výkonu, a to zejména netrénovaných jedinců, se může i snížit. Při této situaci vážně prokrvení, brzy se vyčerpá i anaerobní kapacita organismu a jedinec je nucen přerušit výkon. Hodnoty minutového objemu srdečního mají potenciál se zvýšit až 5násobně, tzn. z 4–5 l/min na 20–25 l/min (Havličková, 1999).

„Tepový kyslík je hodnota vypočtená z minutové spotřeby kyslíku a srdeční frekvence (V_{O2}/SF).“ Určuje množství kyslíku přepraveného jedním tepem do periferie ke tkáním. Je závislý na systolickém objemu a arteriovenózní diferenci pro kyslík. Jeho maximální hodnota vzrůstá s věkem, ale pouze do 25 let, poté opět klesá. U mužů je větší než u žen (Havličková, 1999).

Periferní složku představují cévy, vlastní distribuční systém se svou částí distribuční: tepny (arterie), difuzní: vlasečnice (kapiláry) a sběrnou: žíly (vény). Nejvýraznější změny pozorujeme přímo v tkáních v kapilárním řečišti, protože toto řečiště nejrychleji reaguje na požadavky metabolismu. Nároky na zvýšený přívod kyslíku uplatňují nejvíce činné orgány, svaly, na začátku zatížení proto dochází k redistribuci v krevním řečišti na podkladě kompenzační vazokonstrikce. V některých orgánech útrobní oblasti a vylučovacího systému, ze začátku i v kůži, dochází k vazokonstrikci. Oproti tomu se výrazně zvyšuje prokrvení svalů otevřením anastomóz a prekapilárních svěračů. V klidu je otevřeno jen 5 % vlasečnic. Zvyšuje se i prokrvení srdečního svalu, zásobení CNS zůstává neměnné. Změny prokrvení, zejména u sportovců mohou nastat již v předstartovním stavu (Havličková, 1999).

Podle Havličkové (1999) k dalším změnám dochází při zvyšování teploty jádra. V tomto případě je třeba zvýšit možnost odvádění tepla z povrchu těla různými způsoby fyzikální regulace, kožní cévy dilatují.

Změny strukturální se týkají jak samotné složky centrální, srdce, tak i složky periferní, cév. Vlivem vytrvalostního tréninku je srdce zbytnováno. Tato

fyziologická hypertrofie bývá spojena s rozšířením srdečních komor. Zvětšuje se především levá komora, která vykonává největší práci. Prokrvení srdečního svalu je lepší, má bohatší kapilární síť. Na rozdíl od vytrvalostního tréninku, po kterém vzniká tzv. excentrická hypertrofie, se po silovém tréninku objevuje tzv. hypertrofie koncentrická. Srdce silově trénujících jedinců nebývá zvětšeno, ale na rtg. snímku má výraznější konturu levé komory, echokardiograficky silnější septum a komorovou stěnu. Velikost dutin bývá menší než u běžné populace. Funkčně z toho vyplývá nižší tepový objem a ejekční frakce. Po ukončení tréninku se velikost srdce postupně vrací k výchozímu stavu. Pravidelné cvičení přiměřené intenzity a doby trvání dostatečně zatěžující oběhový systém vede ke změnám v cévním řečišti. Zvyšuje se počet kapilár a zlepšuje se prokrvení svalové tkáně, proto u trénovaných jedinců hovoříme o lepší vaskularizaci (Havlíčková, 1999).

Změny funkčního charakteru se týkají především ukazatelů srdeční činnosti. *„Srdeční frekvence je ukazatelem, ve kterém se již v klidových hodnotách liší trénovaný od netrévaného. Sportovní bradykardie s hodnotami pod 60 tepů/min“* (Havlíčková, 1999). U některých sportovců jsou nalézány extrémně nízké hodnoty, pohybující se okolo 30–35 tepů/min. Trend změn u sympatikotonika a vagotonika je podobný u netrévaného a trénovaného člověka. V klidu a při standardním zatížení má trénovaný jedinec nižší hodnoty než jedinec netrévaný, zatímco u maximálního zatížení nejsou jednoznačné výsledky. Většinou se ukazuje, že maximální srdeční frekvence je hodnotou individuální, která je ovlivněna více věkem nežli tréninkem (Havlíčková, 1999).

Systolický objem srdeční je podle Havlíčkové (1999) u netrévaného jedince v klidu 60–80 ml, u trénovaného jedince 80–100 ml. Se zvyšujícím se zatížením stoupá i tento objem, více ovšem u trénovaného, a to jak při standardním zatížení, tak i při maximálních hodnotách. U trénovaného jedince je objem krve vypuzený jednou systolou do periferie o 50 ml vyšší než u jedince netrévaného, zvyšuje se tedy na hodnoty 150–200 ml.

Minutový objem srdeční je v klidu i při stupňovaném zatížení stejný u trénovaného i netrévaného člověka. Pouze při maximálním zatížení dosahuje trénovaný jedinec až o 10 l vyšší hodnotu než jedinec netrévaný. Hodnoty minutového objemu srdečního se u populace pohybují mezi 20–25 l/min. Q je totiž výslednicí dvou složek, a to srdeční frekvence a systolického objemu. Ekonomizace

funkce u trénovaného člověka se projeví nižší frekvencí a vyšším objemem (Havlíčková, 1999).

2.1.1.2 Neurohumorální regulace

Přechod z klidového stavu do zatížení je pro organismus určitý stres, a proto reakce na něj je reakce stresová. Jedná se o narušení homeostázy, k jejíž obnově vede složitý komplex neurohumorální regulace. Bezprostřední roli má vegetativní nervový systém řízený vyššími oddíly CNS (Máček; Radvanský, 2011).

Už při zátěži nižší intenzity se snižuje aktivita parasympatiku a aktivita sympatiku stoupá. Čím vyšší intenzita, tím je vyšší i tento vzestup. Další vzestup je již spojen se zvyšující se dominancí sympatiku. Tento vliv se stává skutečností prostřednictvím produkce katecholaminů, především adrenalinu a noradrenalinu. Souhra těchto dvou hormonů se plně projeví až při vyšších intenzitách zatížení, kdy působí jak v oblasti transportního systému, tak v metabolismu. Oba tyto hormony přímo, nebo prostřednictvím dalších působků vytvářejí podmínky pro zvýšení schopnosti organismu vyrovnat se s nároky tělesné zátěže. U metabolismu se adrenalin projevuje svým vlivem na štěpení glykogenu v játrech a ve svalech na glukagon. U lipolýzy se uplatňují oba hormony, nicméně vliv adrenalinu je podstatně vyšší. Na srdeční činnost působí adrenalin ve smyslu pozitivní chronotropie, dromotropie a inotropie, zatímco v distribuci krve v periférii a řízení TK se uplatňuje noradrenalin (Máček; Radvanský, 2011).

V oblasti mírného až středního zatížení se reakce organismu řídí změnami v tonu obou typů vegetativního nervového systému, zatímco u intenzivní zátěže lze reakci pokládat za typ poplachové reakce vyvolané působením sympatiku na dřeň nadledvin a projevující se převážně zvýšenou sekrecí adrenalinu, nicméně při opakované intenzivní zátěži produkce adrenalinu postupně klesá, vzniká určitá adaptace, kde srdeční frekvence klesá směrem k vyššímu vlivu oblasti, kde probíhá např. posílení lipolýzy. Koncentrace katecholaminů závisí na mnoha faktorech, na relativní intenzitě zátěže, na stupni trénovanosti i na některých zevních podmínkách, nicméně jejich produkce prudce klesá v průběhu několikátýdenního zatěžování. Snižování produkce katecholaminů se projevuje brachykardií a menším

vzestupem TK, což jsou jedny z prvních příznaků adaptace na zatěžování (Máček; Radvanský, 2011).

K mobilizaci tuků jakožto energetického zdroje svým vlivem na kůru nadledvin přispívá významně i ACTH. Zatěžováním se produkce při zatížení zvyšuje a očekávaný efekt, úspora glykogenu, patří do obrazu adaptace zvláště na vytrvalostní efekt (Máček; Radvanský, 2011).

Zatěžování vyvolává koordinovanou odpověď hypofyzo-tyreoidálních hormonů vyvolávajících zvýšení jejich produkce, nicméně nebyl popsán případ, že by zvýšená aktivita vedla k jejich patologickému zvýšení. Náhlé zvýšení intenzity a objemu tělesné zátěže může u žen vést k poklesu thyroxinu a trijodtyroninu, na druhé straně až dvojnásobné zvýšení počtu uběhnutých kilometrů u trénované ženy vedlo k významnému vzestupu hormonální produkce štítné žlázy (Máček; Radvanský, 2011).

Tyroxin, tetrajodtyronin – T4 a trijodtyronin – T3 jsou hormony produkované folikulárními buňkami a jsou hormony štítné žlázy. Mezi jejich hlavní biologické účinky řadíme zvýšení metabolické aktivity buněk, což se projevuje zvýšenou spotřebou kyslíku a produkcí tepla, zvýšením srdeční frekvence a síly srdečních stahů a dále se podílejí na regulaci růstu celého těla (Kittnar, 2021).

Hormony kůry nadledvin jsou steroidní hormony. Horní vrstvu kůry nadledvin tvoří mineralokortikoidy (aldosteron), střední vrstva produkuje glukokortikoidy (kortizol) a vnitřní vrstva vytváří zejména androgen. Mezi hlavní účinky glukokortikoidů patří ovlivňování metabolismu sacharidů a proteinů – zvyšují koncentraci glukózy v krvi a podporují tvorbu glykogenu, působí proteokatabolicky a zvyšují lipolýzu. Dále permissivním působením na katecholaminy zvyšují sílu srdeční kontrakce a vyvolávají vazokonstrikci. Mineralokortikoidy stimulují tvorbu specifických proteinů a tím umožňují zpětnou resorpci sodíku, který zvyšuje osmotický tlak ECT a následnou atrakcí vody zvyšuje objem ECT. Androgeny působí anabolicky (Kittnar a kol., 2021).

2.1.1.3 *Reaktivní změny v krvi při pracovním zatížení*

Při fyzickém zatížení se relativně zvyšuje objem krve jako důsledek vyplavení krve ze zásobáren, stoupá osmolarita v důsledku hemokoncentrace a je nižší viskozita pro zvýšenou rychlost průtoku krve. Počet leukocytů a jejich zastoupení se zvyšuje a mění v závislosti na intenzitě zatížení: zvýšení lymfocytů s poklesem neutrofilů se objevuje při maximální intenzitě zatížení a také při emocích, zvýšení neutrofilů je pozorováno při střední intenzitě zatížení, nicméně klesá počet lymfocytů i eozinofilů, vyčerpání je pak provázáno zvýšením nebo naopak poklesem leukocytů. Erytrocyty mohou zaznamenat relativní zvýšení počtu z důvodu dehydratace, počet trombocytů se nemění (Bartůňková, 2010).

2.1.1.4 *Reaktivní změny v krevní plazmě*

Hladina cukrů je díky regulačním mechanismům udržována na poměrně stabilní úrovni. Maximální a submaximální intenzity zatížení jsou většinou doprovázeny zvýšenou hladinou krevního cukru v důsledku zátěžové reaktivní hypoglykémie. U výkonů střední intenzity dochází postupně k hypoglykémii, charakterizované pocitem hladu, svalovou slabostí, poruchami vidění a snížením výkonu. Vrácení k původním hodnotám glykémie je poměrně rychlé, výchozí hodnoty jsou většinou dosaženy za 0,5–2 hodiny (Havlíčková, 1999).

Hodnoty krevního laktátu dosahují nejvyšších hodnot zejména u výkonů submaximální intenzity, proti výchozí hodnotě je možný vzestup 10–20krát. Vysokou hladinu laktátu provází pokles hodnot pH, poruchy nervosvalové koordinace, porušení činnosti centrálních synapsí, dráždění dýchacího centra s vysokou hyperventilací a pokles výkonnosti organismu, eventuelně až se zástavou systému. Návrat zvýšené hladiny krevního laktátu k výchozím hodnotám se většinou pohybuje okolo 0,5 až 2 hodin (Havlíčková, 1999).

Podle Havlíčkové (1999) se bílkoviny většinou v krevní plazmě, pro jejich transportní úlohy pro různé látky v krvi, zmnožují a voda se na začátku pohybové činnosti přesouvá do činné svalové tkáně, v další fázi se podílí na zahuštění krevní plazmy zejména pocení, které odčerpává další část vody.

Alkalická rezerva na začátku pohybové činnosti v důsledku neutralizace kyselých metabolitů vykazuje zřetelný pokles. Po skončení zatížení vykazuje

alkalická rezerva vzestup po dobu několika hodin až k výchozím hodnotám (Havlíčková, 1999).

Acidobazická rovnováha: pH je sníženo, zvláště při submaximální intenzitě může klesnout až na hodnotu 6,9, příčinou čehož je zvýšena tvorba kyseliny mléčné, pCO₂ je zvýšen, alkalická rezerva (část pufrů – bikarbonáty a fosfáty) je při anaerobních výkonech snížena, BE (rozdíl nárazníkových bází, nezbytných pro neutralizaci acidózy) je po zatížení, zvláště krátkodobém, vyjadřován v negativních hodnotách (Bartůňková, 2010).

2.1.1.5 *Adaptace vnitřního prostředí na zatěžování*

Objem krve je u adaptovaných jedinců o 5–10 % vyšší než u netrénovaných (Bartůňková, 2010). Již po několika dnech aerobního tréninku se začíná zvyšovat objem plazmy asi o 10–15 %, a to pouhým přesunem vody z extracelulárního prostoru do oběhu. Svého vrcholu, který se pohybuje okolo 20 %, dosahuje tento vzestup po několika týdnech. Získané změny přispívají ke zvýšení oběhové rezervy, end-diastolického a tepového oběhu a celkové transportní kapacity pro kyslík. Pokles intenzity či přerušení tréninku vrací celý adaptační mechanismus zpět k normálním klidovým hodnotám (Máček; Radvanský, 2011). Hematokrit bývá u trénovaných jedinců nižší než u netrénovaných. Z toho důvodu je snížený počet krvinek především relativní. Leukocyty prokazují zvýšenou aktivitu lymfocytů a NK. Počet erytrocytů je při déle trvající hypoxii zvýšený. Tuky v plazmě vykazují pozitivní změny, zvláště u aerobního zatěžování je pozorován úbytek celkového cholesterolu a LDL (Low density lipoprotein) se současným zvýšením HDL (High density lipoprotein) (Bartůňková, 2010).

2.1.2 **Dýchací systém**

Funkcí dýchací soustavy je výměna kyslíku a oxidu uhličitého mezi atmosférickým vzduchem a buňkami našeho organismu. *Jedná se o vitální funkci, jejíž absence vede v řádu minut k ireverzibilním změnám a smrti (Kittnar, 2021).* Vnitřní dýchání má za úkol uvolňování energie. Tu však lze uvolňovat i bez kyslíku (anaerobně) a řada nižších organismů s tímto metabolismem vystačí. Anaerobní metabolismus je mnohem jednodušší a nenáročnější než aerobní. Problémem u anaerobního metabolismu je však nižší energetická účinnost a při velikosti

lidského organismu enormní produkce odpadních zplodin, např. pouze bazální metabolismus by produkoval řádově 10 kg laktátu denně. Laktát je kyselé, osmoticky aktivní a jeho eliminace v mnohobuněčném organismu je náročná. Zjednodušeně lze tedy říci, že dýcháme proto, aby aerobní metabolismus měl při své energetické účinnosti lehčí eliminaci metabolických produktů (Kittnar, 2021).

Řízení respirace obsahuje dvě oblasti. První je řízení pravidelného rytmu střídání vdechu a výdechu, tou druhou pak uzpůsobení úrovně ventilace aktuálním potřebám organismu (Kittnar; Mlček, 2009).

2.1.2.1 Plicní objemy a kapacity

Více plicních objemů a kapacit je používáno při měření plicní funkce. Tyto dle Ratamesse a kol. (2007) obsahují:

- *dechový objem*: objem vzduchu nadechnutého či vydechnutého každým nádechem či výdechem (500 ml u žen, 600 ml u mužů),
- *inspirační dechový objem*: objem vzduchu, který je doveden po běžném nádechu (1900 ml u žen, 3000 ml u mužů),
- *expirační dechový objem*: objem vzduchu doveden po běžném výdechu (800 ml u žen, 1200 ml u mužů),
- *reziduální objem*: objem vzduchu zůstávajícího v plicích po maximálním výdechu (1000 ml u žen, 1200 ml u mužů),
- *celková plicní kapacita*: objem vzduchu v plicích po maximálním nádechu (4200 ml u žen, 6000 ml u mužů),
- *usilovná vitální kapacita*: maximální objem vydechnutého vzduchu po maximálním nádechu (3200 ml u žen, 4800 ml u mužů),
- *inspirační kapacita*: maximální objem vzduchu po vydechnutí dechového objemu (2400 ml u žen, 3600 ml u mužů),
- *funkční reziduální kapacita*: objem vzduchu po vydechnutí celkového objemu (1800 ml u žen, 2400 ml u mužů),

- *jednovteřinová vitální kapacita*: maximální objem vzduchu vydechnutého za 1 sekundu po maximálním nádechu. Často vyjadřováno vzhledem k usilovné vitální kapacitě a bývá okolo 85 %.

- *minutová ventilace*: ventilace za jednu minutu; jakožto součin dechového objemu a dechové frekvence. V klidu je přibližně 6 l/min (12 dechů x 0,5 l). Během cvičení se dechová frekvence zvyšuje na 35–45 dechů/minuta u zdravých jedinců, ale u elitních vytrvalců se může zvýšit až na 60–70 dechů/minuta. Dechový objem se během zatížení zvyšuje až na 2 l, což vede ke zvýšení minutové ventilace až na 100 l/minuta a více (McArdle, 2010). U hodně náročných aktivit se však kyslíkové nároky pokrývají spíše zvýšením dechové frekvence, nežli dechového objemu (Dempsey, 2006). Elitní vytrvalci dosahují hodnot okolo 160–180 l/minuta (McArdle, 2010; Dempsey, 2006). Minutová ventilace se zvyšuje lineárně společně s VO_2 . Nicméně minutová ventilace se od ventilačního prahu zvyšuje exponenciálně (Dempsey, 2006).

2.1.2.2 Plicní adaptace na zatížení

Vitální kapacita se může lehce zvýšit, nebo nezměnit, zatímco reziduální objem se může lehce snížit (Wilmore, 1999). Dechový objem zůstává konstantní u aktivit s nízkou intenzitou, nicméně se bude zvyšovat u maximálních intenzit, hlavně u vytrvalostně trénujících sportovců (Dempsey, 2006). Dechová frekvence se v klidu a u submaximálních intenzit snižuje, ale u maximálních intenzit se naopak zvyšuje (Wilmore, 1999). Plicní minutová ventilace se nemění nebo se nepatrně snižuje v klidu a u nízkých intenzit, ale zvyšuje se během maximálních intenzit u vytrvalostně trénujících sportovců (Wilmore, 1999; Dempsey, 2006).

Silově trénující sportovci mají podobné hodnoty klidové minutové ventilace jako netrénovaní jedinci (Ratamess a kol., 2007). Rozdíly mezi pohlavími existují. Ženy mají oproti stejně starým a vysokým mužům rozdílnou strukturu plic, což se týká menší vitální kapacity a maximálních respiračních průtoků, menší průměr dýchacích cest a menší difúzní povrch (Harms, 2006). Ženy mají oproti mužům menší dýchací cesty a objem plic, nižší klidový maximální respirační průtok a mají vyšší metabolické nároky na dýchání (Sheel, 2008).

2.1.2.3 *Reaktivní a adaptační změny dýchacího systému na zatížení*

Výsledkem adaptace dýchacího systému je snížení dechové práce při stejném výkonu proti neadaptovaným, čímž by se mělo snížit nebo uvolnit množství kyslíku pro jiné účely. Po několikátýdenním aerobním tréninku se během submaximální zátěže sníží dechový ekvivalent pro kyslík a současně i nároky na kyslík pro dechové svaly. Tato změna vyvolává jednak nižší únavu těchto svalů a jednak poskytuje další zdroj pracujícím svalům. Postupně se při této zátěži zvyšuje dechový objem a snižuje se dechová frekvence, tím zůstává vdechnuté množství vzduchu v plicích déle, a může se proto zvýšit příjem kyslíku z každé vdechnuté porce vzduchu (Máček; Radvanský, 2011).

Reaktivní změny je možné pozorovat již před začátkem práce. Tyto změny jsou spojeny s předstartovními stavy. Stoupání hodnot ventilačně respiračních ukazatelů vzniká jak na podkladě zvýšené dráždivosti centrálního nervového systému, tak na podkladě podmíněných reflexů vypracovaných v průběhu dlouhodobého opakování výkonu při tréninku a závodech. Začátek práce je charakterizován dvěma fázemi: iniciální fází rychlých změn a fází přechodnou s pomalejšími změnami. V ní se doladují metabolické požadavky pracujících svalů. U výkonů střední až maximální intenzity trvající déle než 40–60 s může dojít k projevům tzv. mrtvého bodu. Čím delší je trať a čím nižší je intenzita, tím později se mrtvý bod objevuje. Mrtvý bod se projevuje množstvím subjektivních a objektivních příznaků. Mezi subjektivními a velice nepříjemnými příznaky převládá nouze o dech. Poté se objevují bolesti ve svalech, svalová slabost, tíha a tuhnutí svalů. Doprovodné pocity, mezi něž patří zejména dušnost, nutí jedince ukončit výkon. I objektivně je možné v tomto období pozorovat pokles výkonu, horší koordinaci, narušení dynamického stereotypu i řadu změn v kardiorepiračních funkcích.

Zhoršená ekonomika dýchání se projeví snížením dechového objemu a spotřebou kyslíku společně se zvýšením dechové frekvence a respiračního kvocientu se zvýšenou srdeční frekvencí a krevním tlakem. V případě, že jedinec pokračuje dále ve výkonu, příznaky mrtvého bodu postupem času mizí. Dýchání se prohlubuje, nastává snížení dechové frekvence, srdeční frekvence společně s krevním tlakem mírně klesají a výkon stoupá. Dýchání se stává opět ekonomické,

nastupuje tzv. druhý dech, se kterým je spojováno zvýšení teploty organismu společně s větším odvodem tepla ve formě pocení, odpařování potu. Vlivem tréninkového zatěžování projevy druhého dechu ustupují do pozadí a subjektivně se již neprojevují. U netrénovaných naopak obsáhlý proud vzruchů ze svalových receptorů a z dýchacího svalstva vede k vytvoření hlubokého obranného útluhu v mozkové kůře a diskoordinaci funkcí. Ve srovnání se srdeční frekvencí jsou v dechové frekvenci při zátěži sledovány výraznější změny. Dechová frekvence se při stupňovaném zatížení postupně zvyšuje, nicméně toto zvyšování je individuální a závisí na ekonomice dýchání. Při nízké intenzitě zatížení se DF pohybuje od 20 do 30 dechů za minutu, u vyšší intenzity mezi 30–40 dechy a u velmi těžké práce se pohybují mezi 40–60 dechy za minutu. U některých sportovních činností cyklického charakteru (běh, kolo, plavání atd.) je dýchání vázáno na pohyb v určitém poměru ke krokům, záběrům apod. Při některých činnostech je naopak dýchání znesnadněno nebo úplně zastaveno (vzpěračské výkony, skoky, potápění atd.) (Havlíčková, 1999).

Adaptační změny vznikají jako důsledek dlouhodobého zatěžování v dlouhodobém tréninku. Nejvýraznější změny jsou u tréninku vytrvalostního charakteru. U srovnání ventilačně-respiračních parametrů má trénovaný jedinec lepší ekonomiku dýchání, větší funkční kapacitu a vyšší maximální hodnoty sledovaných parametrů (Havlíčková, 1999).

Trénovaný jedinec má dle Havlíčkové (1999).

1. lepší mechaniku dýchání
2. lepší plicní difuzi
3. nižší dechovou frekvenci při standardním i maximálním zatížení
4. vyšší maximální dechový objem 3–5 l, (60–80 % VC), netrénovaný 2–3 l, (50 % VC)
5. vyšší vitální kapacitu
6. nižší minutovou ventilaci při standardním zatížení a vyšší maximální hodnotu
7. vyšší a-v diferenci pro kyslík při maximálním zatížení
8. minimální až nulové projevy mrtvého bodu

9. rychlejší nástup setrvalého stavu při vyšší intenzitě
10. vyšší maximální aerobní výkon
11. anaerobní práh při vyšší intenzitě a vyšší spotřebě kyslíku
12. vyšší kyslíkový dluh

2.1.2.4 Kyslíkový deficit, kyslíkový dluh

Kyslíkový deficit je rozdíl mezi potřebou a spotřebou kyslíku na začátku anaerobně prováděné práce (Bartůňková, 2010).

Vzniká bezprostředně po začátku tělesné zátěže, kdy oběhový systém není schopen dodat dostatečné množství kyslíku pracujícím svalům. Tím se rozvíjí kyslíkový deficit, který se po ukončení zátěže splácí jako kyslíkový dluh. Kyslíkový dluh představuje veškerou nadspotřebu kyslíku.

Kyslíkový dluh má dle Galertové (2014) 3 složky:

1. rychlou alaktátovou složku, která slouží k obnově ATP a CP během 2–3 minut po ukončení zátěže,
2. pomalou laktátovou složku, která vede k resyntéze glykogenu,
3. pomalou alaktátovou složku, jež obnovuje klidové funkčně metabolické podmínky.

2.1.2.5 Spotřeba kyslíku, maximální spotřeba kyslíku

Klidové hodnoty příjmu kyslíku se udávají okolo 3,5 ml/min/kg. Se zvyšující se intenzitou zatížení příjem kyslíku stoupá. Maximální hodnoty u netréovaných žen se pohybují okolo 35 ml/min/kg a u netréovaných mužů dosahují maxima 45 ml/min/kg. Adaptací na vytrvalostní trénink dochází k postupnému zvyšování maximálních hodnot. U světových běžců na lyžích se hodnoty pohybují až okolo 90 ml/min/kg. Vlivem vytrvalostního tréninku také dochází k ekonomizaci pohybu, na stejnou práci potřebuje vytrvalostně trénovaný jedinec méně kyslíku než netréovaný (Bernaciková, 2012).

2.1.2.6 Aerobní, anaerobní práh

Aerobní, nebo také první laktátový práh je bod, kdy se hladina laktátu zvýší nad 2 mmol/l a odpovídá intenzitě, již jsme schopni provozovat několik hodin. Přestože se nazývá prahem, jde spíše o pásmo, které poukazuje na přepnutí především pomalých oxidativních svalových vláken na rychlá oxidativně glykolytická vlákna (Sharkey; Gaskill, 2019).

Ventilační anaerobní práh je metabolický přechod či předěl mezi převážně aerobním a anaerobním krytím energetických nároků, jedná se o hranici mezi intenzitou zátěže bez výrazné kumulace laktátu v krvi a intenzitou zátěže s výraznou kumulací laktátu v krvi. Vyjadřována je zpravidla intenzitou zátěže, spotřebou kyslíku a srdeční frekvencí na úrovni anaerobního prahu i relativním vyjádřením vzhledem k maximálním hodnotám vyšetřovaného jedince i ve stupni subjektivního pocíťování zátěže (Heller, 2018).

2.1.3. Centrální nervová soustava

Pro pochopení i toho nejzákladnějšího stimulu, který může způsobit svalovou práci, musíme vzít v úvahu komplexnost centrální nervové soustavy. Centrální nervová soustava se skládá z mozku, který si pro naše potřeby rozdělíme na 4 základní oblasti – cerebrum, diencephalon, cerebellum a mozkový kmen – a z míchy. Cerebrum se skládá z pravé a levé hemisféry, které jsou spojeny svazky vláken nazývanými se corpus callosum, které umožňují komunikaci mezi oběma hemisférami. Mozková kůra vytváří vnější část hemisfér a je označována jako oblast mysli a intelektu či šedá kůra mozková. Mozková kůra je vědomí, které umožňuje lidem myslet, být si vědomi stimulů a kontroly volního pohybu.

Cerebrum se skládá z 5 laloků, a to z 4 vnějších a jednoho vnitřního laloku, přičemž každý z nich je zodpovědný za jiné funkce a procesy. Čelní lalok: obecná inteligence, motorická kontrola; spánkový lalok: sluchový vstup a jeho interpretace; temenní lalok: obecné smysly a jejich interpretace; týlní lalok: zrakový vstup a jeho interpretace; ostrovní lalok: různé funkce obvykle spojené s emocemi a vnímáním sebe sama. Tři hlavní oblasti cerebra důležité pro zátěžovou fyziologii jsou: primární motorická kůra, umístěná v čelním laloku; bazální ganglia, nacházející se v bílé kůře pod mozkovou kůrou; a primární sensorická kůra, která se nachází

v temenním laloku. Primární motorická kůra je zodpovědná za jemnou motoriku a nachází se v čelním laloku, přesněji v precentrálním gyru. Neurony, nacházející se v precentrálním gyru, nazývané pyramidálními buňkami, nám umožňují vědomě ovládat pohyb kosterních svalů. Je to oblast, v níž se rozhoduje o volných pohybech. Bazální ganglia (nuclei) nejsou součástí mozkové kůry. Nachází se hlouběji v mozkové bílé kůře, hluboko v kortexu. Tato ganglia jsou shluky těl nervových buněk, komplexní funkce bazálních ganglií nejsou zcela pochopeny, nicméně víme, že jsou důležité v iniciování pohybů a udržování repetitivních pohybů a kontrolují komplexní pohyby, jako je například chůze či běh. Zároveň participují na udržování postury a svalového napětí (Kenney a kol., 2012)

Diencephalon je oblast mozku skládající se z thalamu a hypothalamu. Thalamus je důležité smyslové integrační centrum. Veškerý smyslový příjem (vyjma čichu) prochází skrze thalamus a je přenášen do odpovídající části kortexu. Thalamus reguluje, které vjemy se dostanou do vědomé části mozku, a proto je důležitý pro motorickou kontrolu. Hypothalamus, nacházející se přímo pod thalamem, je zodpovědný za udržování homeostáze regulující většinu procesů, které ovlivňují procesy ovlivňující vnitřní prostředí organismu. Neurální centra zde pomáhají regulovat fyziologické systémy včetně krevního tlaku, srdeční frekvence a kontraktility, respirace, zažívání, tělesné teploty, žízně a rovnováhy tekutin, neuroendokrinní regulace, hladu a příjmu potravin či spánkového cyklu.

Cerebellum (mozeček) se nachází za mozkovým kmenem, je připojen k mnoha částem mozku a má zásadní roli v koordinaci pohybu. Mozeček je zásadní pro řízení všech rychlých a složitých svalových činností. Pomáhá koordinovat a načasovat motorické aktivity a rychlý přechod mezi nimi, za které zodpovídají jiné části mozku. Mozeček pomáhá funkci motorického kortexu i bazálním gangliím, která by bez něj byla bez kontroly a korekce, zároveň pracuje jako integrační systém porovnávající již naprogramované vzorce s plánovanými pohyby se změnami, které se aktuálně v těle dějí, a skrze pohybový aparát pohyby koriguje. Dostává informace z cerebra, jiných částí mozku a smyslových receptorů (proprioceptorů) ve svalech a kloubech, které udržují mozeček informovaný ohledně pozic jednotlivých segmentů. Mozeček je část motorického kortexu, který dělá rozhodnutí o pohybu. Toto rozhodnutí se přenáší do cerebella, kde se díky proprioceptorům chtěný pohyb upravuje podle aktuální pozice jednotlivých

segmentů. Pokud požadovanou akci nelze provést nebo vyžaduje korekci, je informace poslána zpět do vyšších center mozku (Kenney a kol., 2012).

Mozkový kmen se skládá ze středního mozku, Varolova mostu a prodloužené míchy. Sensorické a motorické neurony prochází mozkovým kmenem, jelikož předávají informace mezi mozkem a míchou. Toto je místo původu pro 10 z 12 párů kraniálních nervů. Mozkový kmen také obsahuje většinu autonomních center, která ovládají respirační a kardiovaskulární systém. Speciální soubor neuronů v mozkovém kmeni, známý jako retikulární formace, je ovlivňován většinou oblastí CNS a také většinu z nich ovlivňuje. Tyto neurony pomáhají koordinovat funkci kosterních svalů, udržovat svalový tonus, ovládat kardiovaskulární a respirační funkce a určovat stavy vědomí (bdění a spánek). Mozek má systém kontroly bolesti umístěný v retikulární formaci a skupinu nervových vláken v mozkovém kmeni. Prodloužená mícha, nejnižší část mozkového kmene, pokračuje míchou, jež se skládá z traktu nervů, které umožňují dvojí cestu vedení nervových vzruchů. Sensorická (aférentní) vlákna nesou neurální signály ze sensorických receptorů, například z kůže, svalů a kloubů, do vyšších center centrální nervové soustavy. Motorická (eferentní) vlákna transmitují akční potenciály z mozku a vyšší míchy do koncových orgánů.

2.1.3.1 Somatické a vegetativní nervové regulace, hormonální regulace při zatížení a v zotavení

Somatický nervový systém je iniciátorem i regulátorem svalové činnosti. Iniciátorem samotné svalové činnosti je motorický kortex primární a sekundární, do kterého přicházejí informace z hybného systému. Pyramidová kortikospinální dráha z primární korové oblasti zprostředkovává hybnost akrálních svalů, mimických svalů, oko-hybných svalů a svalů jazyka. Ze sekundárních oblastí kůry a šedé podkorové hmoty je extrapyramidovými drahami zprostředkována hybnost kořenová a osová. Bez činnosti motorického kortexu není možná volní hybnost, ale její zpřesnění je úkolem aférentní vzruchové aktivity zejména

z proprioreceptorů a zpětnovazebných extrapyramidových systémů (Havlíčková, 1999).

Vyplavené hormony do krve svůj vliv na cílové tkáně přenášejí pomocí vazby na specifický receptor, kdy pro každý hormon má cílová buňka na své membráně specifický receptor. V případě obsazeného receptoru nebo chybějící receptorové výbavy nemůže buňka hormon zaregistrovat a tím je znemožněna její funkce. Při zahájení pohybové aktivity dojde v metabolismu k utlumení anabolických pochodů a k rozvoji katabolických dějů. Základní hormony s katabolickým účinkem dle Lehnerta (2014) jsou:

1. Adrenalin – produkován dřením nadledvin; podílí se na zvyšování svalové glykogenolýzy a dále na stimulaci lipolýzy.
2. Glukagon – produkován alfa-buňkami Langerhansových ostrůvků lokalizovaných v pankreatu; podílí se na zvyšování jaterní glykogenolýzy a glukoneogeneze.
3. Kortizol – produkován kůrou nadledvin; u déle trvajícího vytrvalostního výkonu se významně podílí na glukoneogenezi a zisku energie z tuků.
4. Tyroxin – produkován štítnou žlázou; stimuluje glykogenolýzu v játrech a lipolýzu v adipocytech.

Po ukončení pohybové aktivity nastává fáze zotavení, během níž začnou v metabolismu postupně dominovat anabolické procesy, které jsou zajišťovány účinky hormonů, které spadají do anabolických. V této kategorii se nachází testosteron, somatotropin (růstový hormon) a inzulin. Inzulin je považován za hormon s nejsilnějšími anabolickými účinky (Lehnert, 2014).

Z hlediska metabolického mají tyto hormony dle Lehnerta (2014) srovnatelné účinky:

1. Testosteron – mužský hormon produkován varlaty, především proteosyntetické účinky.
2. Somatotropin – vyplavovaný z adenohipofýzy již během zatížení, podporuje rozklad lipidů a během zotavení reguluje proteosyntézu.
3. Inzulin – je hormon produkován β -buňkami Langerhansových ostrůvků pankreatu. Hlavní účinky inzulinu jsou, v klidových podmínkách, transport

glukózy do buněk přes aktivaci GLUT4, stimulace proteosyntézy, inhibice proteolýzy, zesílení glykogeneze, lipogeneze i liponeogeneze.

2.1.4 Biochemické změny

Interakce příčných můstků a tvorba síly začínají jako výsledek sledu událostí, které vedou k uvolnění vápenatých iontů ze sarkoplazmatického retikula (SR). Tento sled událostí se nazývá vazba mezi vzruchem a kontrakcí (EC-coupling). Snížená efektivita nebo zablokování vazby mezi vzruchem a kontrakcí vede ke snížení nebo vymizení kontraktlní síly. Ty hrají důležitou roli při únavě svalových vláken a souvisejících jevech (Ament; Verkerke, 2009).

U unavených svalů je rychlost uvolnění na konci kontrakce zpomalená (prodloužená relaxační doba) (Bergstrom; Hultman, 1991), a to pravděpodobně jakožto důsledek snížení rychlosti transportu Ca^{2+} zpět do sarkoplazmatického retikula. Tato inhibice SR Ca^{2+} pumpy může být způsobena zvýšenou koncentrací vodíkových iontů (sníženého pH), která nastává během intenzivní fyzické aktivity (Pourmand, 2000).

2.1.4.1 Přeměna makroergních substrátů jako energetických zdrojů pro obnovu ATP a proces uplatňování jednotlivých zón energetického krytí v závislosti na intenzitě a době trvání svalové činnosti

Lidský organismus potřebuje pravidelný přísun energie v podobě sacharidů, tuků a bílkovin, aby mohl vykonávat fyziologické funkce a udržet buňky při životě. Tato energie je přímo zužitkována buňkami a uložena do zásoby. Zásoby energie se musí neustále obnovovat z důvodu soustavného odčerpávání v době hladovění mezi jídly. Uskladnění energie probíhá v adipocytech tukové tkáně, kde je tuk uložen v tukových kapénkách ve formě triacylglycerolů, v jaterních a svalových buňkách, jež mají cytoplazmatická granula obsahující polymer glukózy glykogen. Tuk představuje významnější zásobu energie než glykogen, protože oxidace 1 g tuku poskytne dvojnásobek energie než 1 g glykogenu. Proto je pro organismus efektivnější ukládat energii v podobě tuků než ve formě sacharidů (Rokyta a kol., 2015)

Energetickým zdrojem pro kontrakci svalových buněk je adenosin trifosfát (Lehninger, 1971; Murray, 1993). Ve svalové buňce hlavní dráhy pro produkci ATP podle Murrayho (1993) obsahují:

1. Rapidní produkci ATP ze sarkoplasmatických zásob kreatinfosfátu.
2. O něco pomalejší produkce využitím anaerobní glykolýzy. Enzymy a palivo ve formě glykogenu určené pro tyto reakce jsou uloženy v sarkoplasmě.
3. Pomalejší, ale vysoce efektivní produkce ATP použitím aerobními drahami pro glykolýzu a metabolismus tuků pomocí mitochondrií.

Nezávisle na tom, která cesta k získání ATP je dominantní, svalová kontrakce bude vždy spojena se zvýšením adenosin difosfátu (ADP) a produkcí anorganického fosfátu (P_i). Během intenzivních kontrakcí může být akumulace P_i měřena pomocí magnetické rezonance spektroskopie (NMR) (Minotti JR a kol., 1989). K tomu anaerobní glykolýza vede ke zvýšené produkci vodíkových iontů (H^+) a měřitelnému poklesu hodnot intra- a extracelulárního pH. Koncentrace těchto tří metabolitů (ADP, P_i , a H^+) bude zvýšená zvláště u kontrakcí vysoké intenzity a síly, přičemž všechny tři přímo ovlivňují efektivitu interakce příčných můstků. Efektivita interakce příčných můstků je předpokládána dvěma faktory: doba trvání spojení a rozpojení aktinovými a myozinovými filamenty během cyklu příčných můstků; a rychlost cyklu příčných můstků. Rychlost limitující krok v rychlosti cyklu příčných můstků je vyplavení P_i , což je krok A-M-ADP $\sim P_i$ na A M-ADP (Lionne a kol., 1995). Dle Lamba (1994) zvýšení hladiny H^+ (vodíkových iontů) snižuje sílu izometrické kontrakce a dle Potma (1994) snižuje dobu přichycení vlákna. Zvýšení vodíkových iontů podporuje návaznost ATP na aktino-myozinový komplex během fáze spojení v cyklu interakce příčných můstků, což zrychluje odpojení aktinových a myozinových filament (Karatzaferi, 2003). Cooke et al. (1988) našel snížení v rychlosti kontrakce během zvýšené koncentrace vodíkových iontů. V přehledu Myburga (2004) polemizuje, do jaké míry je tento pokles rychlosti kontrakce způsoben nízkou teplotou (10 °C), při které byly tyto testy realizovány. Westerblad a kol. (1997) nepřišel na žádné zpomalení v rychlosti kontrakce při teplotě 30 °C. Za běžných podmínek je teplota kosterního

svalu vyšší než 30 °C. Z toho vyplývá, že pokles intramuskulárního pH během cvičení s nejvyšší pravděpodobností nebude mít žádný efekt na rychlost kontrakce za normálních fyziologických podmínek.

Fyzická aktivita před počátkem akumulace laktátu může být udržena po dlouhou dobu. Limitujícím faktorem v aktivitě pod anaerobním prahem je dostupnost glukózy (Coyle, 1986; McArdle, 1996). Koncentrace krevní glukózy je udržována na konstantní úrovni a je regulována interakcí mnoha hormonů (Powers, 1994). Spotřeba glukózy pracujících svalů je regulována glukózovými transportéry (Hayashi, 1997). Roli ve spotřebě glukózy hraje oxid dusnatý (NO), jelikož svalové buňky obsahují NO-syntetázu (Frandsen, 1997), která se velice pravděpodobně aktivuje zvýšením vápníku v sarkoplazmě během svalové kontrakce. Výsledkem je, že stahující se sval uvolňuje NO, tím se zvyšuje aktivita glukózových transportérů, což vede ke zvýšení příjmu glukózy. Bylo zjištěno, že administrace lokálního blokovaní NO-syntetázy snižuje příjem glukózy pracujících svalů (Bradley, 1996).

Během vytrvalostního zatížení glykogen v buňkách postupně klesá a svalová tkáň postupně zvyšuje spotřebu glukózy v krvi. V okamžiku, kdy je dostupnost glukózy menší než její koncentrace, se může glukóza v krvi ještě snížit (Powers, 1994). Tento děj obvykle nastává v rozmezí 1–2 hodin po začátku zatížení, u maratonského běhu se objevuje okolo třicátého kilometru a sportovci zažívají zkušenost známou jako „náraz do zdi“. Spouštěčem těchto pocitů může být přímá reakce mozku na sníženou koncentraci glukózy v krvi; mozková tkáň potřebuje minimální objem stálého příjmu glukózy pro zachování normální funkce (Mayes, 1993).

Přirozeným zdrojem energie pro organismus jsou makroergní vazby kyseliny fosforečné s různými organickými látkami. Z pohledu energetického metabolismu slouží energie chemických vazeb jednotlivých živin k doplnění zásob makroergních sloučenin. Nejvýznamnější z makroergních sloučenin je ATP, kvantitativně méně se podílejí kupříkladu GTP, kreatinfosfát, glukóza-6-fosfát a fosfoenolpyruvát. Při hydrolýze jedné makroergní vazby ATP se z jednoho molu ATP uvolní 8 kcal (Holeček, 2016).

Samotnou transformaci energie chemických vazeb jednotlivých živin do formy makroergních vazeb lze dle Holečka (2016) rozdělit do 4 stupňů:

1. rozpad živin na základní složky (*polysacharidů na monosacharidy, bílkovin na aminokyseliny a lipidů na mastné kyseliny a glycerol*),
2. přeměna monosacharidů, mastných kyselin a aminokyselin na acetylkoenzym A či některý z meziproduktů citrátového cyklu,
3. tvorba redukovaných ekvivalentů (*NADH*) a CO_2 v citrátovém cyklu,
4. reoxidace *NADH* v dýchacím řetězci mitochondrií za tvorby *ATP* a H_2O .

U středního pracovního zatížení trvajících okolo 20–30 minut jsou na začátku rozhodujícím zdrojem sacharidy, ale postupně nabývají většího významu tuky. Oba tyto zdroje jsou v dostatečné míře k dispozici a jejich využití závisí na aktuálním stavu organismu a úrovni adaptace na zátěž. Nicméně příprava uvolnění a rozštěpení tuků trvá podstatně déle než využívání svalového glykogenu. Intenzita metabolismu a výběr látek závisí na koncentraci metabolických hormonů, především katecholaminů, dále souvisí se vzájemnou protiváhou inzulínu a glukagonu společně s růstovým hormonem (Máček; Radvanský, 2011).

Jako první se spaluje svalový glykogen, který ke své fosforylaci nepotřebuje žádné ATP. Po určité době, okolo 30–40 minut, u netrénovaného dříve, se podstatně sníží zásoby glykogenu v pomalých, oxidativních vláknech. Svalová vlákna začínají v této fázi více využívat krevní glukózu a tím šetřit zbývající zásoby glykogenu, metabolismus přechází postupně z čerpání vlastních zásob na zdroje, které jsou dodávány krevní cestou. Arteriovenózní diference vyplavování glukózy z jater, kde probíhá intenzivní glukogeneze z glycerolu, z FFA, z La i z proteinů, ale především z aminokyseliny alaninu a lyzinu, se postupně zvyšuje. Podíl FFA na celkové energetické přeměně je závislý jak na trvání, tak i na intenzitě zátěže. U intenzity mezi 60–70 VO_{2max} činí podíl tuků 30–40 %, při nižší intenzitě i delším trvání, i několik hodin, podíl stoupá až na 80–90 % (Máček; Radvanský, 2011).

2.1.4.2 Biochemie svalové kontrakce a metabolické pochody, kterými svalová buňka získává energii pro svou činnost, limity kapacity těchto pochodů

Sval vykonává práci tak, že se po odpovídajícím podnětu zkrátí. Svaly jsou obklopeny pojivovými tkáněmi, stejně jako jednotlivá vlákna a malé skupiny vláken uvnitř svalu. Jednotlivé vrstvy pojivové tkáně jsou propojeny se šlachami a fasciemi, které se upínají na kostru. Jakmile se sval zkrátí, svalová vlákna zatáhnou za pojivové tkáně, které zatáhnou za šlachy a šlachy zatáhnou za kosti. Svaly samotné se mohou pouze zkracovat. Jednotlivé stahy jsou ovládány mozkem pomocí signálů přenášených nervy. Nervové impulzy řeknou svalu, která vlákna, kdy, jakou silou a na jak dlouho smrštít. Nervový systém také koordinuje stahy většího počtu svalů, aby byl pohyb plynulý (Sharkey; Gaskill, 2019).

Svalová vlákna jsou mnohoaderné útvary vyznačující se přítomností stažlivých struktur v sarkoplazmě. Tyto myofibrily se skládají z pravidelně se střídajících úseků tenkých a silných myofilamentů aktinu a myozinu, což je podkladem střídání jednolomné a dvojlomné zóny zapříčiňující charakteristické příčné pruhování. Úsek, jehož hranice jsou dvě Z-linie, je nazýván sarkomerem a tvoří nejmenší jednotku stažlivosti svalového vlákna. Model svalové kontrakce podle Huxleyho předpokládá posun vláken aktinu a myozinu proti sobě za vzniku příčných můstků mezi oběma typy filamentů. Velikost tenze je závislá na počtu vytvořených příčných můstků. Při svalovém stahu dojde ke štěpení ATP pomocí myozinové ATPázy jako energetického zdroje pro konformační změny molekul pro tvorbu a pohyb můstků. Pro excitaci svalové kontrakce je nutné uvolnění iontů vápníku ze sarkoplazmatického retikula k myofilamentům, kde je vytvářen Ca-aktomyozinový komplex, který je doprovázen štěpením ATP na ADP. Při relaxaci svalů dochází k zániku můstků a reabsorpci vápníku pomocí Ca^{2+} pumpy do sarkoplazmatického retikula. Tento děj je podmíněn resyntézou ATP (Havlíčková, 1999).

Z hlediska biochemie svalové kontrakce je energie potřebná k funkční činnosti kosterních svalů pro resyntézu ATP z ADP dle Havlíčkové (1999) poskytována čtyřmi typy reakčních procesů:

1. tvorbou ATP ze dvou molekul ADP,
2. tvorbou ATP z CP,

3. tvorbou ATP při aerobní glykolýze glycidů za vzniku kyseliny mléčné,
4. tvorbou ATP v aerobním cyklu kyseliny citrónové, kdy konečnými produkty jsou voda a CO₂.

Jedno vazebné místo je schopno štěpit přibližně 70 molekul ATP za sekundu, přičemž jedna molekula ATP je štěpena na spoji na každých 12 nm pohybu aktinu po myozinu (Havličková, 1999).

2.1.4.3 Dělení svalové tkáně, svalová tkáň, akční potenciál myokardu

Svalovou tkáň podle Bartůňkové (2010) rozdělujeme na hladkou, srdeční a příčně pruhovanou. V kosterním svalu jsou rychlá a pomalá vlákna. V každém svalu se vyskytují oba typy vláken, nicméně v rozdílném zastoupení. Funkčně i morfologicky rozlišujeme 3 typy vláken:

1. rychlá glykolytická,
2. rychlá oxidativně glykolytická,
3. pomalá oxidativní.

Podle Havličkové (1999) jsou rychlá glykolytická vlákna unavitelná, rychlá oxidativně glykolytická jsou rezistentní únavě a pomalá jsou též únavě rezistentní.

Akční potenciál kosterního svalu se od nervového liší tvarem a trváním, nicméně obě fáze i jejich řízení jsou identické. Akční potenciál vzrušivých tkání má dvě fáze. První, kdy se poruší polarizace membrány a hodnota membránového potenciálu se zvyšuje z negativních do kladných hodnot. Změna tohoto membránového potenciálu se nazývá depolarizace. Depolarizace začíná pasivně, když změna napětí na membráně otevře malý počet napětově řízených Na⁺-kanálů. Dosáhne-li změna membránového potenciálu spouštěcí úrovně, následný proud Na⁺-iontů do buňky dále zvětší změnu napětí, otevřou se další Na⁺-kanály, z čehož vzniká kladná zpětná vazba, která otevře co nejrychleji maximálně možný počet napětově řízených natriových kanálů a vyvolá rychlý masivní proud Na⁺-iontů do buňky. To, že tento proud převýší mechanismus udržující klidový membránový potenciál, zajišťuje kladná zpětná vazba. Druhou, ve které návrat membránového potenciálu ke klidovým hodnotám se nazývá repolarizace a její průběh je dán zastavením dějů vedoucích k depolarizaci a zvýšením proudu K⁺-iontů z buňky otevřením napětově řízených K⁺-kanálů. Tento proud je schopen na krátkou chvíli

vyvolat hyperpolarizaci membrány, sodíko-draslíková pumpa však rychle obnoví návrat ke klidovému rozložení iontů a tím i k normálnímu klidovému potenciálu. Oproti tomu pracovní myokard má odlišný tvar akčního potenciálu a několik dalších fází navíc:

1. První fází akčního potenciálu je depolarizace membrány. Průběh a mechanismus této fáze je shodný s depolarizací membrány nervové buňky.
2. Následuje krátká fáze částečné repolarizace, kdy hodnota membránového potenciálu rychle klesá, ale jen krátce.
3. Poté následuje fáze typická pro myokard, tzv. fáze plató, kdy zůstává hodnota membránového potenciálu lehce pozitivní relativně dlouhou dobu (200–400 ms). V tomto časovém rozmezí je proud kationtů v obou směrech přes membránu v rovnováze. Směrem ven z buňky cestují K^+ -ionty. Toto proudění je jak ve směru koncentračního, tak i elektrického gradientu K^+ -iontů. Tento proud je však poměrně malý, neboť propustnost K^+ -kanálů je v důsledku positivity membránového potenciálu snížena. Naopak do buňky proudí Ca^{2+} -ionty, neboť dochází k otevření specifických Ca^{2+} -kanálů, které se začínají otevírat v momentě, kdy se hodnota membránového potenciálu při depolarizaci přiblíží nulové hodnotě.
4. Poslední fází akčního potenciálu je repolarizace, při níž převažuje proud kationtů směrem ven z buňky. Příčinou je inaktivace specifických Ca^{2+} -kanálů, kterou způsobí pokles membránového potenciálu zpět do negativních hodnot. Tato změna také obnoví propustnost K^+ -kanálů a následný proud K^+ -iontů z buňky navrátí klidovou hodnotu membránového potenciálu. (Kittnar; Mlček, 2021)

I přes delší trvání je akční potenciál hladkého svalu obvykle podobný kosterní svalovině. Existují i typy hladkého svalu, u kterých se akční potenciál podobá akčnímu potenciálu myokardu. Schopnost transformovat chemickou energii na mechanickou má jen omezený počet buněk lidského těla.

Těmto buňkám říkáme svalové a jsou dle Kittnara a Mlčka (2021) definovány třemi základními vlastnostmi: dráždivostí (excitabilitou), stažlivostí (kontraktibilitou) a schopností přeměnit podráždění na stah. V této schopnosti sehrává podstatnou roli jako druhý posel kalcium. Protože mají Ca^{2+} -ionty významnou signální úlohu nejen ve svalu, ale ve většině lidských buněk, je jejich koncentrace v cytosolu udržována na nízké úrovni. To mají na starost ATPázové

pumpy, které z cytosolu odčerpávají Ca^{2+} -ionty, a iontové výměníky, které sekundárně aktivním transportem směňují Ca^{2+} -ionty za Na^{2+} -ionty. Vyústěním je v obou případech transport kalcia z cytosolu do endoplasmatického retikula, do extracelulární tekutiny, případně do mitochondrií. Tyto pumpy a výměníky mají generalizovaně zásadní úlohy v regulaci hladiny cytosolového kalcia. Cesta, jakou Ca^{2+} -ionty realizují řízení svalového stahu a zejména jeho síly, se zásadně liší u jednotlivých typů svalu. U svalů kosterních aktivuje depolarizace sarkolemy dihydropyridinové receptory, které následně aktivují ryanodinové receptory na sarkoplazmatickém retikulu (SR). Výsledkem je přesun Ca^{2+} -iontů ze sarkoplazmatického retikula ke kontraktilnímu aparátu, kde následnou vazbou na troponin C umožní svalovou kontrakci.

Relaxace je zprostředkována Ca^{2+} ATPázovou pumpou na sarkoplazmatickém retikulu. V buňkách myokardu vstupují Ca^{2+} -ionty během fáze plató do buňky, kde jsou skrze ně aktivovány ryanodinové receptory sarkoplazmatického retikula. Během relaxace jsou tyto ionty odčerpány zpět do mezibuněčného prostoru, což je realizováno výměníkem Na^{+}/Ca^{2+} . V hladkém svalu je více zdrojů intracelulárního kalcia, zprostředkovávajícího kontrakci vazbou na kalmodulin. Energie nutná pro kontrakci i relaxaci je kryta ATP, jež je čerpán z několika zdrojů. Jelikož se v kosterním svalu během akčního potenciálu uvolní vždy stejné množství Ca^{2+} -iontů, ovlivňuje sílu kontrakce jednoho svalového vlákna frekvence akčních potenciálů přijímaných do konkrétního motoneuronu a u celého svalu je poté pro sílu kontrakce determinující počet kontrahujících svalových vláken, tedy počet do kontrakce zapojených motorických jednotek. Ve svalu hladkého charakteru hraje rozhodující roli v řízení silové kontrakce množství Ca^{2+} -iontů uvolňujících se při akčním potenciálu do cytoplazmy. Toto množství je ovlivňováno celou řadou faktorů podle typu hladké svaloviny (tonický, fázický a vícejednotkový). Podobně jako u myokardu má význam i výchozí délka svalu (Kittnar; Mlček, 2021).

2.1.4.4 Využívání zdrojů energie ve svalu v závislosti na intenzitě a době trvání výkonu

Dodávka energie nutná k bezprostřednímu provedení svalové kontrakce pro krátkodobý intenzivní výkon kolísá v závislosti na požadavcích a potřebách motorické jednotky. Je zajišťována rozpadem fosfokreatinu a glykogenu a glykogenolýzou v rychlých glykolytických vláknech, zatímco oxidace sacharidů a tuků se rozebírá převážně v pomalých oxidativních vláknech, určených pro dlouhodobou aktivitu antigravitačního charakteru (Máček; Radvanský, 2011).

Energie nutná pro funkci kontraktálních elementů svalových vláken vzniká štěpením ATP (adenosintrifosfát), který se ztrátou jedné molekuly mění na dimonofosfát, zatímco volný fosfát s kreatinem tvoří kreatinfosfát, jenž je zdrojem energie pro opakující se resyntézu. Energie k resyntéze ATP se získává oxidativní nebo glykolytickou fosforylací substrátu tvořeného především volnými mastnými kyselinami (FFA) nebo krevní glukózou, mnohdy přenesenou do sousedního svalového vlákna nebo i do vzdálených orgánů ve formě laktátu. Glykolytický způsob uvolnění energie je velmi rychlý a uplatňuje se při krátkých intenzivních zátěžích trvajících do 1–2 minut (Máček; Radvanský, 2011).

Oxidativní fosforylace probíhá pomaleji, ale množství takto dodané energie je prakticky omezeno jen zásobou substrátu. Tento způsob je využíván u dlouhodobějších vytrvalostních výkonů i při vytrvalé aktivitě některých svalových skupin. Jeho vyšší výkonnost je nicméně limitována současnou schopností transportního systému, tj. oběhu a dýchání, dodat co nejekonomičtější formou co největší množství kyslíku (Máček; Radvanský, 2011).

2.1.4.5 Bazální metabolismus, pracovní metabolismus

Hlavní komponentou denního energetického výdeje u průměrného člověka je energie vydaná pro udržovací procesy, většinou nazývaná bazální metabolismus (Davison a kol., 2022)

Bazální metabolismus je definován jako nejmenší množství energie nutné ke krytí základních funkcí organismu za bazálních podmínek, které jsou dle Holečka (2016) definovány následovně:

- a) osoba je v duševním a tělesném klidu (leží, ale nespí),*
- b) osoba se nachází v „termoneutrální zóně“ – to znamená, že v místnosti je teplota minimalizující nároky na termoregulaci (20 °C pro osobu oblečenou a 27 °C pro osobu svlečenou),*
- c) osoba je 12 hodin po posledním příjmu potravy a po 3 dny byl omezen příjem bílkovin.*

Bazální metabolismus je definován konvekcí a jeho hodnota nepředstavuje nejnižší možný energetický výdej. Nižší hodnoty je možné zaznamenat ve spánku. Pro muže o hmotnosti 70 kg se bazální metabolismus pohybuje okolo 7 MJ/den, u žen to bývá o 10 % nižší. Hodnotu bazálního metabolismu určuje:

- tělesný povrch – čím větší povrch těla, tím vyšší hodnota bazálního metabolismu;
- genetické faktory – u osob se zvýšenou depresí genů pro UCP a dopaminových a adrenalinových receptorů a geneticky vyšší aktivitou sympatiku lze zaznamenat vyšší bazální metabolismus a nižší tělesnou hmotnost;
- věk – bazální metabolismus vztažený na jednotku tělesné hmotnosti i povrchu těla je u dětí vyšší než u dospělých, ve stáří hodnota bazálního metabolismu klesá;
- pohlaví; ženy mají bazální metabolismus přibližně o 10 % nižší;
- klima – osoby žijící v teplých krajích mají nižší bazální metabolismus;
- tělesná teplota – zvýšení tělesné teploty o 1 °C zvýší bazální metabolismus až o 14 %;
- humorální vlivy – tyreoidální hormony, katecholaminy a cytokiny zvyšují bazální metabolismus;
- stav výživy – dlouhodobé hladovění a podvýživa snižují bazální metabolismus;
- těhotenství a menstruace – zvyšují bazální metabolismus.

Energetické nároky na práci jsou nejvíce variabilní složkou z celkového energetického výdeje. Při práci se energetický výdej zvyšuje nejen v důsledku

činnosti kosterního svalstva, ale i v důsledku zvýšené metabolické aktivity kardiovaskulárního, respiračního a nervového systému. Výrazně se zlepšuje metabolická aktivita jater, kde je aktivována glykogenolýza a glukoneogeneze. Svalová práce, u fyzicky velmi namáhavých sportovních výkonů, může zvýšit spotřebu až 10násobně (Holeček, 2016).

2.1.4.6 Metabolismus tukové tkáně při zatížení a v zotavení

Tuková tkáň je hlavním zdrojem v klidu i při mírné a střední tělesné aktivitě. Tuková tkáň má též největší energetický obsah, a to 39 kJ/g, který je stálý a může být bez potíží mobilizován (Máček; Radvanský, 2011).

Podle Janečka (2016) jsou lipidy heterogenní skupina látek, jejichž společnou vlastností je špatná rozpustnost ve vodě. Mezi hlavní fyziologicky významné lipidy patří mastné kyseliny, triacylglyceroly, fosfolipidy a cholesterol.

Využívání tuků oxidací FFA (volné mastné kyseliny) při vytrvalostním tréninku roste do určité míry submaximální zátěž s pokračující adaptací. Tento přístup šetří glykogen a usnadňuje snazší uvolnění FFA z tukových depot za nízké koncentrace La. Současně se v trénovaných svalech zvyšuje i využití nitrosvalových triglyceridů. Úroveň adaptační lipolýzy společně se zvýšením aktivity enzymů stoupá s průtokem krve zatěžovaným svalem (Brooks; Mercier, 1994). Vedle toho se spaluje tuk i v klidu, ovšem tento energetický výdej je relativně malý a závislý na podílu tuků ve stravě (Máček; Radvanský, 2011).

2.1.4.7 Jaterní tkáň při zatížení a v zotavení

Játra jsou nejdůležitějším metabolickým orgánem v těle, který je zapojen do metabolických procesů mezi místem resorpce živin a orgány, jež tyto živiny dále zpracovávají nebo ukládají do rezerv. Funkci jater můžeme podle Melichny (1990) rozdělit do 5 hlavních skupin:

1. metabolická funkce a produkce tepla,
2. ochranná (detoxikační) funkce, např. odstraňování amoniaku,
3. skladovací funkce: skladování krve a železa,
4. vylučovací funkce: tvorba a vylučování žluči do střeva,
5. oběhová a hematologická funkce, např. odbourávání erytrocytů.

Hlavním energetickým substrátem umožňujícím vytvářet ATP pro potřeby glukoneogeneze v játrech jsou mastné kyseliny, jejichž nabídka stoupá v důsledku aktivace lipolýzy v tukové tkáni. Limitujícím faktorem vytváření glukózy v játrech je zřejmě jejich perfuze, která může být absolutně či relativně snížena v důsledku nasměrování hlavní části srdečního výdeje do svalů (Janeček, 2016).

Potřebný příjem glukózy pro pracující svaly je zčásti přesunut z jater, jež musí uvolnit glukózu v tempu, které odpovídá její zvýšené spotřebě, aby udrželo rovnováhu glukózy ve svalu (Wasserman, 2009). Při vysoce intenzivním a/i dlouho trvajícím zatížení může nastat odchýlení od rovnováhy. Během vysoce intenzivního zatížení stimul uvolnění glukózy z jater přesahuje zásoby glykogenu, čímž způsobuje zvýšení hladiny glukózy v krvi (Sigal a kol., 2004). Oproti tomu u dlouho trvajících zatížení může hypoglykémie vyústit v téměř totální vyčerpání glukózy v játrech (Felig a kol., 1982).

Zvýšená spotřeba glukózy během zatížení je doprovázena zvýšenou mobilizací jaterní glukózy a glukoneogeneze. Potenciální energie ve formě glykogenu je v největším množství právě v játrech. Při zatížení je tato zásobárna energie hydrolyzována aktivací fosforylace glykogenu, jež vede k vyplavení glukózy z jater (Wasserman, 1995).

O regulaci jater po zatížení se toho i přes jejich důležitou roli v energetické rovnováze neví mnoho (Galassetti, 1999).

2.1.4.8 Metabolismus svalové tkáně a její adaptace na různé typy fyzického zatěžování

U metabolismu svalové tkáně převažuje aktivní účast oxidativních pomalých svalových vláken na metabolismu lipidů (Pette; Vrbová, 1992).

Metabolismus za anaerobních podmínek, vzhledem k nedostatku kyslíku, získává energii ve formě ATP z kreatinfosfátu a fosforylací glykolýzy. Schopnost využívat anaerobní glykolýzu jako zdroj ATP je závislá na typu svalové tkáně (Janeček, 2016).

Metabolismus za aerobních podmínek může trvat, na rozdíl od anaerobního metabolismu, dlouhou dobu, a to díky rovnováze mezi energetickými nároky pracujícího svalstva na straně jedné a odvodem katabolitů na straně druhé. Aerobní

svalové práci jsou nejlépe přizpůsobena červená oxidativní svalová vlákna. Vedle glukózy získané štěpením svalového glykogenu se jako energetický substrát uplatňuje i glukóza získaná glykogenolýzou v játrech, která je aktivovaná katecholaminy společně s poklesem poměru inzulín/glukagon. Pro udržení glykémie při déletrvající svalové práci přispívá mimo jaterní glykogenolýzy i glukoneogeneze z laktátu, glycerolu a aminokyselin aktivovaná jak na substrátové úrovni, tak na úrovni enzymů prostřednictvím poklesu poměru inzulín/glukagon. Při vytrvalostním výkonu se stávají významným energetickým substrátem i mastné kyseliny, zatímco proteinová bilance není při vytrvalostním výkonu výrazně ovlivněna. Zvýšení uvolňování tyrozinu ve svalech však svědčí o aktivaci rozpadu některých nekontraktálních proteinů přítomných ve svalu. Největší změnou v metabolismu aminokyselin při aerobní práci je aktivace katabolismu BCAA provázená zvýšenou syntézou a uvolňováním alaninu a glutaminu ze svalu do krve. Alanin je využit jako substrát při glukoneogenezi, zatímco využití glutaminu je komplexnější – transportuje amoniak ze svalů do jater, tvoří alaninu ve střevě, umožňuje glukoneogenezi a amoniogenezi v ledvinách (Janeček, 2016).

V adaptaci svalových vláken na specifický typ zatěžování hrají roli i vyzrálé myocyty schopné takzvané svalové plasticity: mění se jejich fenotypický i metabolický profil, včetně stavby kontraktálních bílkovin a transmembránových transportérů. Vytrvalostně zatěžované vlákno se syntetizuje v jiném procentuálním zastoupení izotypy těžkých řetězců myosinu a k tomu i odpovídající přenašeče iontů a metabolitů. Přitom intenzivně spolupracují dělicí se satelitní buňky. Izotypy myosinu s pomalejší zkracovací rychlostí jsou potom zastoupeny více v myocytech s větší aktivitou myozinové ATPázy a s nižším energetickým nárokem na stah. Svalová plasticita je zřejmě příčinou dosti velké variability zastoupení jednotlivých typů vláken i mezi vrcholovými sportovci stejné disciplíny (Máček; Radvanský, 2011).

2.2 Srdeční frekvence

Srdeční frekvence (SF), na periférii hodnocená jako tepová frekvence (TF), patří mezi hlavní ukazatele motoru celého systému, který se nemění pouze v závislosti na vlastním výkonu, ale změny tohoto ukazatele můžeme pozorovat už před výkonem a po výkonu (Havlíčková, 1999).

Výhodou monitorování srdeční frekvence je to, že se jedinec spoléhá na kapacitu svého srdce a srdeční frekvence je schopna ukázat, jak se jedinec na daný trénink adaptuje (Benson; Connolly, 2012).

2.2.1 Měření srdeční frekvence

Minutová srdeční frekvence bývá podle Struhára (2019) monitorována při zátěžových testech po celou dobu zatížení, zvláště u testu aerobních schopností, kdy jsme poté schopni se v tréninku po stanovení ventilačních prahů řídit podle hodnot SF. Dále se měří maximální SF, ze které jsme schopni odpočítat jednotlivá pásma jakožto ukazatele intenzity v tréninku. SF jako ukazatel intenzity zatížení můžeme používat jako ukazatel převážně ve vytrvalostních sportech.

2.2.2 Zátěžové testy

Podle Struhára (2019) je cílem zátěžových testů zjistit funkční schopnosti člověka, posoudit připravenost k sportovnímu výkonu, získat vodítka pro řízení intenzity tréninkové zátěže nebo pohybové léčby, odhalit skrytá oslabení organismu a posoudit druh a míru poškození dysfunkce orgánu. Jednotlivé testy by měly být příslušné a odpovídající danému sportu, dostatečně přesné, přiměřeně citlivé, s co nejmenší chybou, spolehlivé, opakovatelné a objektivní.

Zátěžové testy dělíme na laboratorní a terénní. V laboratoři máme stabilnější podmínky, například chemické podmínky prostředí, přesnější intenzitu zátěže, dávkování, lepší kontrolu provedení, lepší možnosti sledování odezvy organismu, lepší opakovatelnost a větší možnost srovnání výsledků v delším časovém horizontu, nicméně je zde také menší přenositelnost výsledků do praktického tréninku a soutěžních utkání. Naopak u zátěžových testů terénních máme nestabilní vnější podmínky, jako je teplota, vítr, obecně počasí, variabilnější zátěž, dávkování práce, horší možnosti sledování odezvy organismu, větší přenositelnost do tréninkového zatížení a mistrovských utkání a soutěží, nicméně horší opakovatelnost a horší možnost srovnání výsledků v delším časovém horizontu (Struhár, 2019).

Při měření funkčních parametrů v laboratoři používáme při testování v závislosti na druhu sportu běhací koberec (ergometr), šlapací koberec, nebo

speciální ergometry simulující pádlování nebo veslování. Základním kritériem pro použití zatěžovacího prostředku – ergometru – je jeho biomechanická podobnost s pohybovou činností, se kterou je prováděn vlastní pohybový výkon (Bunc, 1990).

Ergometrie v laboratoři je prováděna buď na běhátku, rotopedu či veslařském trenažeru. Zátěž na rotopedu je stupňovaná, většinou je zátěž zvyšována po 2 minutách o 0,5–1 W/kg podle aktuální kondice jedince. Na běhátku je stupňovaná rychlost pásu. Počáteční rychlost se stanovuje podle aktuální zdatnosti jedince a předpokládaného výsledku (4–7 km/h). Po celou dobu zátěže je monitorováno EKG (Struhár, 2019).

Spiroergometrie je laboratorní funkční vyšetření, které při standardním způsobu zatěžování monitoruje kardiorespirační a metabolické změny probíhající v organismu. Základním výstupem spiroergometrického vyšetření v oblasti diagnostiky zdatnosti a výkonnosti člověka je maximální aerobní kapacita, jež představuje celkové množství mobilizovatelné energie, kterou lze získat oxidativní resyntézou ATP (Heller, 2018).

Spiroergometrie se tedy používá jako test aerobních schopností, jehož cílem je zjištění a posouzení aerobních schopností, kdy sledujeme výkon na bicyklovém ergometru či rychlost na běžeckém páse, dále respirační parametry, kterými jsou minutový příjem kyslíku a minutový výdej oxidu uhličitého, a zatížení krevního oběhu, kde se sleduje minutová srdeční frekvence a maximální srdeční frekvence. Na tento test je potřeba laboratorní vybavení a mezi jeho největší rizika patří kolaps testované osoby při zátěži nebo po skončení zátěže, a proto je potřeba věnovat zvýšenou pozornost bezpečnostním opatřením (Struhár, 2019).

Harvardský výstupový test – test spočívá ve vystupování na bednu vysokou 50 cm pro muže, 45 cm pro ženy a 30 cm pro děti po dobu 5 minut. Časová délka testu může být alternována na hodnotu 3 minut. Během stanoveného času vystupuje testovaný jedinec na bednu v tempu 30 výstupů za 1 minutu. V případě, že testovaný jedinec není schopný dodržet stanovený rytmus vystupování, zaznamenáme čas testování a test ukončíme, bezprostředně po testu se testovaný jedinec posadí. Výzkumník následně zaznamenává 3 hodnoty tepové frekvence v čase 1:30, 2:30 a 3:30 minut po zatížení (Struhár, 2019).

Ruffierův test – standardizovaný test pro hodnocení zdatnosti oběhového systému. U tohoto testu zjišťujeme index zdatnosti a srdeční frekvenci. Potřebujeme stopky, sporttester, metronom k určení frekvence výstupu na bednu a připravený protokol k zaznamenání dat. Testovaná osoba by měla být odpočatá, nehladová a musí splňovat podmínky pro bezpečné splnění testu. Změříme hodnotu SF (počet tepů) za 15 s. Testovaná osoba se před testem rozcvičí. Následně vykoná 30 dřepů v pravidelném tempu za 45 sekund. Ihned po výkonu testu testovanou osobu usadíme a změříme SF (počet tepů) za 15 sekund, necháme ji 1 minutu sedět a znovu změříme SF (počet tepů) za 15 sekund. Výsledky hodnotíme podle rovnice $RI = [(TF1 + TF2 + TF3) \times 4 - 200] / 10$.

Zdatnost hodnotíme dle Struhára (2019) následovně:

1. nižší než 0 – výborná
2. 0,1–5 – velmi dobrá
3. 5,1–10 – průměrná
4. 10,1–15 – podprůměrná
5. vyšší než 15 – nedostatečná

Pohybových testů s různými cíli je mnoho. Pro potřeby této práce jsou výše zmíněné testy pouze ilustrační, jelikož cílem je měření návratu srdeční frekvence ke klidovým hodnotám po dosažení maximální intenzity zatížení.

2.3 VO₂max

Fyzická aktivita sportovců je důležitým elementem úspěchu ve sportu. Zahrnuje to velký objem různých kapacit, za hlavní komponentu je považována aerobní kapacita. Fyziologický základ fyzické aktivity organismu zahrnuje funkční kapacitu organismu ke zvýšení úrovně metabolických procesů v souladu s požadavkem fyzické námahy, které je vystaven. Metabolické procesy v tomto smyslu znamenají změnu chemické energie na mechanickou (Bowers, 1988).

Maximální spotřeba kyslíku (VO₂max) se vztahuje k intenzitě aerobních procesů a reprezentuje kapacitu využití množství kyslíku v určitém okamžiku (Živanic, 1999).

Podle Kenneyho a kol. (2012) mají muži ve věku 20–29 let, kteří nesportují, $VO_2\max$ 43–52 ml/kg/min. Se zvyšujícím se věkem $VO_2\max$ klesá.

Aktivita	Věkové rozmezí	$VO_2\max$
Cyklistika	18–26	62–74
Basketbal	18–30	40–60
Fotbal	22–28	54–64
Atletika běh	18–39	60–85
Běh na lyžích	20–28	65–94
Plavání	10–25	50–70
Nesportovci	20–29	43–52
Gymnastika	18–22	52–58

Tabulka č.1 Hodnoty $VO_2\max$ u vybraných sportů ($VO_2\max$ = ml/min/kg)

Podle tabulky č.1 můžeme odvodit trénovanost jednotlivých probandů vzhledem k nesportující populaci i jednotlivým sportům a věkovým rozmezím.

2.3.1 Zátěžové testy používané pro predikci a měření $VO_2\max$

Maximální fyzické zatížení může být definováno jako zatížení, u kterého je vyžadováno 100 % z maximální spotřeby kyslíku ($VO_2\max$). Zatížení, které má nároky vyšší než jedincova maximální spotřeba kyslíku, je popsáno jako supramaximální, kdežto zatížení, při němž je zapotřebí kapacita nižší než 100 %, je popsáno jako submaximální. Poměr pracovní rychlosti spojovaný s $VO_2\max$ je udržitelný zhruba 4–8 minut (Billat a kol., 1994). $VO_2\max$ může být dosaženo během vyčerpávajícího vysoce intenzivního submaximálního výkonu, během step testu nebo stupňovaného zatížení až do volního vyčerpání nebo během

prodlužovaných maximálních sprintů (Burnley a kol., 2006). Zda se VO_2 promítne do maximálního či submaximálního ustáleného stavu během zatížení, má důležité implikace pro toleranci zatížení a výkonu (Burnley; Jones, 2007).

Metabolické, fyziologické a perceptuální odpovědi na zatížení se výrazně liší vzhledem k charakteru a intenzitě zatížení, které je studováno. Hranice mezi těmito různými doménami může být rozdělena fyziologickými orientačními body do laktátového prahu, na úrovni laktátového prahu či hraniční síly a maximálního využití kyslíku. Anaerobní (laktátový) práh, který ohraničuje střední a vysokou intenzitu zatížení, může být definován jako VO_2 , nad kterým krevní laktát přesahuje klidovou koncentraci během postupně se zvyšující intenzity (Wasserman a kol., 1973). Maximální laktátový udržitelný stav nebo kritický výkon, který ohraničuje přechod mezi těžkou a hraniční intenzitou zatížení, lze definovat jako nejvyšší intenzitu cvičení, která umožňuje stabilizaci laktátu a VO_2 v krvi během dlouhodobého cvičení (Beneke a Duvillard, 1996). Horní limit hraniční intenzity zatížení se vyskytuje nad rychlostí práce, kde je tolerance zatížení extrémně limitována a volní vyčerpání přichází dříve než dosažení maximálního využití kyslíku (Wilkerson a kol., 2004).

Obecný protokol – pro determinování anaerobního prahu po 5minutovém výklusů nebo cyklickém rozcvičení absolvuje testovaná osoba 5 čtyřminutových úseků postupně ve stupňovaném zatížení a spotřeba kyslíku je měřena v poslední minutě každé části. Pro testování ventilace a ventilačních prahů je obecně používán běžecký či cyklistický ergometr, kdy testovaná osoba po 5minutovém rozcvičení absolvuje sedm 2minutových částí a spotřeba kyslíku je opět měřena poslední minutu každé části (Davison, 2022).

Conconiho test se skládá z 3minutového rozcvičení klusem a nějakého protažení závisujícího na testované osobě. Následuje stupňovaný protokol do maximální volní únavy. Intenzita zatížení začíná na 9, 11, 13 nebo 15 km/h v závislosti na trénovanosti jedince. Rychlost běhu se zvyšuje každých 200 m o 0,5 km/h. Srdeční frekvence je měřena pomocí radiotelemetru krátkého dosahu (Polar Sport Tester, Polar Electro Oy, Finland) nebo podobného zařízení s možností zaznamenání frekvence každých 5 sekund pro okamžitou zpětnou vazbu po skončení testu. Tento test je terénního charakteru a může být realizován na běžecké dráze. Rychlost jednotlivých úseků je určena pomocí nahrávky,

a rychlost běhu je tedy řízena zvukovými signály, nicméně rychlost by měla být zvyšována každých 200 metrů, a ne vzhledem k času, aby byl zachován Conconiho cíl. (Davison, 2022).

Test na 1,5 míle byl vytvořen pro studenty a studentky vysokých škol a nebyl validován na jiné populaci. Protokol se skládá z 1,5 míle na běžeckém ovále, kdy je snaha uběhnout vzdálenost v co nejkratším čase. Nejlepší strategií je běžet celou trať v jednom tempu až do konce jako v závodě. Zaznamenáváme pouze čas uběhnutí dané vzdálenosti v minutách a sekundách spolu se srdeční frekvencí na konci. VO_{2max} je predikováno následovně: $VO_{2max} \text{ (ml/kg/min)} = 88,02 + (3,718 * \text{pohlaví}) - (0,0753 * \text{hmotnost v librách}) - (2,767 * \text{čas v minutách a sekundách})$, kde pohlaví = 1 pro muže a 0 pro ženy. Tento test má $R = 0,90$ a $SEE = 2,8 \text{ ml/kg/min}$ (George a kol., 1993).

Storerův maximální test na kole je stupňovaný test na bicyklovém ergometru, kde je revolutions per minute (RPM) (kadence šlapání) konstantní na 70 rpm a výstupní výkon 50 wattů na začátku a postupně se zvyšuje o 15 wattů každou minutu. VO_{2max} je počítáno pomocí následující rovnice. Pro muže: $VO_{2max} \text{ (ml/min)} = (10,51 * \text{watt}) + (6,35 * W_t \text{ kg}) - (10,49 * \text{věk}) + 519,3$ (Storer; Davis, 1990).

YMCA submaximální bicyklový test predikuje VO_{2max} na základě extrapolace odpovědi srdeční frekvence relativní k výstupnímu výkonu, kde maximální srdeční frekvence je predikována podle věku testovaného a podle ní se definuje maximální výstupní výkon. Vrcholný výstupní výkon (W_{peak}) je pak použit pro odhad VO_{2max} pomocí následující metabolické rovnice: $VO_{2max} \text{ (ml/kg/min)} = 7 + [1 : 8 (6,12 W_{peak}) / BM]$ (Golding; Sinning, 1989).

12minutový běh je test, při kterém je testovaná osoba instruována k uběhnutí co nejvyšší možné vzdálenosti za 12 minut, kdy je možno i jít, ale preferovaný je běh po celou dobu. Po uplynutí 12 minut se zaznamená uběhnutá vzdálenost, nicméně testovaná osoba by měla pokračovat v chůzi pro zklidnění organismu. Předpokládaná $VO_{2max} \text{ (ml/kg/min)} = 35,97 * \text{vzdálenost (míle)} - 11,29$ (Cooper, 1968).

Člunkový běh na 20 m se skládá ze samostatných 20metrových úseků, kdy testovaná osoba běhá mezi vyznačenými čarami od sebe vzdálenými 20 metrů.

V momentě, kdy zazní krátký zvuk, musí být za jednou z čar, když zazní dlouhý zvuk je změna v úrovni. První úroveň je 8,5 km/h pro ženy a 10 km/h pro muže, rychlost je zvyšována o 0,5 km/h po každé minutové úrovni. Testovaná osoba pokračuje, dokud je schopna udržet rytmus běhu. Poslední dosažená rychlost je nazývána maximální aerobní rychlostí. Po dokončení testu by testovaná osoba měla do zklidnění chodit. Předpokládaná VO_{2max} (ml/kg/min) = $31,025 + 3,248 * \text{rychlost (km/h)} - 3,248 * \text{věk (Y)} + 0,1536 * (\text{věk} * \text{rychlost})$ (Leger, 1988).

Milfit test je test realizovaný pomocí bicyklového ergometru, kdy počáteční výkon je stanoven na 50 W a každé 2 minuty je zvyšován o 25 W až do vyčerpání. Frekvence šlapání je nastavena mezi 60 a 80 rpm. Predikce VO_{2max} je na základě následující rovnice: VO_{2max} (ml/kg/min) = $12,35 * P_{max}/kg + 3,5$. P_{max} = nejvyšší dosažený výkon během testu, kg = tělesná hmotnost (Matti, 2013).

3 Cíle práce a hypotézy

Cíle

Cílem práce bylo determinovat statistickou závislost mezi maximálními hodnotami VO₂max při standardizovaném zatížení s poklesem srdeční frekvence po maximálním zatížení a funkčními hodnotami anaerobního prahu.

Hypotézy

H1: Mezi mírou poklesu srdeční frekvence a VO₂max bude silná pozitivní korelace ($r = 0,6-0,8$).

H2: Probandi s vyšší absolutní hodnotou VO₂max budou mít rychlejší pokles srdeční frekvence oproti probandům s hodnotou nižší.

H3: Probandi s vyšší absolutní hodnotou VO₂max budou mít procentuálně vyšší anaerobní práh v rámci srdeční frekvence.

4 Metodika práce

Popis výzkumného souboru

Výzkumný soubor obsahoval 10 zdravých mužů ve věku 22–26 let. Testování byli studenti FTVS, měli platnou sportovní prohlídku ne starší než 1 rok v době testování a měli předchozí zkušenost s během na běhacím ergometru. V projektu nebyli jedinci se zraněním, mající akutní respirační nebo infekční onemocnění nebo jedinci s jakýmkoliv onemocněním či omezením pohybového aparátu, kardiovaskulárním onemocněním nebo v rekonvalescenci po onemocnění či úrazu.

Použité metody

Probandům byly před samotným testováním změřeny krevní tlak, hmotnost a výška. Následně jim byla nasazena silikonová spiroergometrická maska a hrudní pás pro měření srdeční frekvence. Po vystoupení na běžecký ergometr byla provedena spirometrie (FEV1/FVC) ve stoje a MV (1 min) v sedě. V rozcvičení probandi absolvovali běh po dobu 4 min (11 km/h, 0° sklon). V 5. minutě byl sklon nastaven na 5°. Od 6. minuty byla rychlost pásu běžeckého ergometru navýšena každou minutu o 1 km/h až do volního vyčerpání probanda. Po ukončení běhu byl proband usazen a po dobu 5 minut byla měřena srdeční frekvence spolu se spirometrií. Kardiorespirační funkční parametry byly stanovovány pomocí otevřeného systému diagnostickým zařízením Cortex Metalyzer 3B, varianta breath-by-breath, s modulem pro měření srdeční frekvence. Procento O₂ bylo měřeno pomocí paramagnetického čidla, koncentrace CO₂ ve vydechovaném vzduchu infračerveným analyzátozem, plicní ventilace turbínkou (Haugen a kol., 2003). Výstupními funkčními parametry byly hodnoty VO₂max (ml/min/kg) a anaerobního prahu. Metodika sběru dat je shrnuta na Obrázku č. 1.



Obrázek č. 1 Grafický abstrakt testování

Sběr dat

Sběr dat byl realizován v laboratoři sportovní motoriky UK FTVS pod odborným dohledem PhDr. Pavla Hráského, Ph.D. v časovém rozmezí od listopadu 2022 do prosince 2022 dle standardizovaného protokolu na běžeckém ergometru.

Analýza dat

Hodnoty ventilačního prahu 1 a 2 a maximální hodnoty funkčních parametrů byly stanoveny pomocí programu MetaSoft Studio (verze 5.9), který je kompatibilní s přístrojem Cortex Metalyzer, na kterém probíhalo měření.

Data byla znázorněna pomocí programu RStudio (verze 4.1.2) a balíčku ggplot 2 (Wickham, 2016). Statistická závislost byla počítána v programu Microsoft Excel 2019 (Microsoft, Redmond WA, USA), pomocí funkce CORREL.

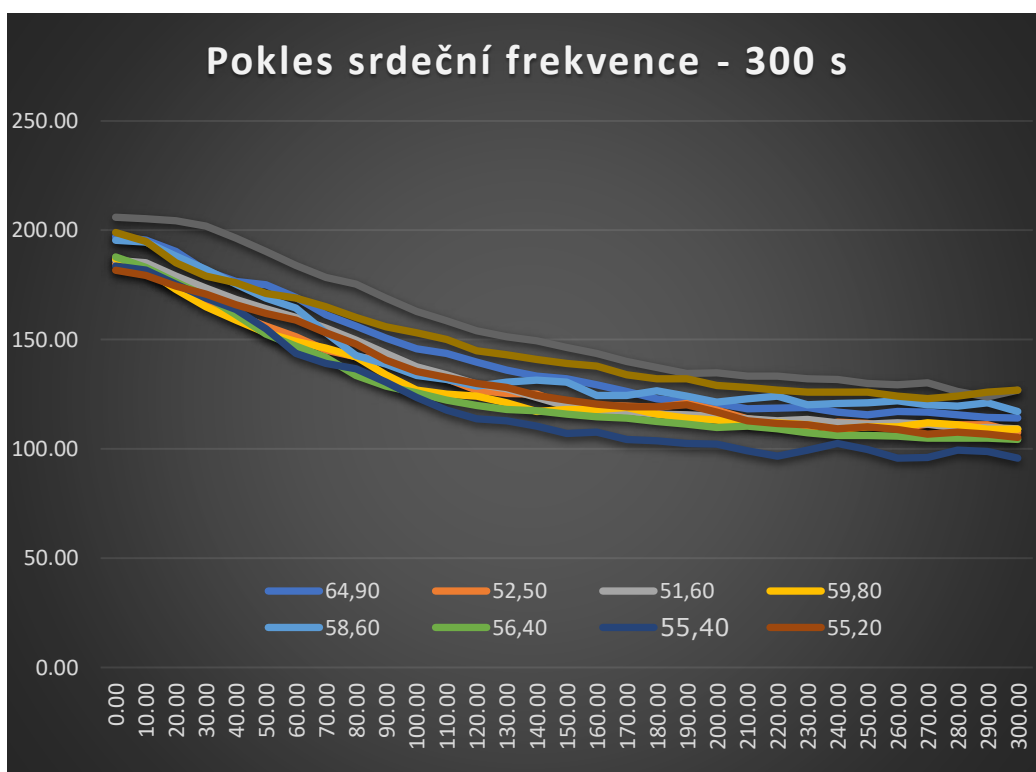
5 Výsledky

5.1 Antropometrické parametry

Testování se účastnilo 10 zdravých mužů ve věku $23,6 \pm 0,48$ let s průměrnou výškou $180,3 \pm 2,49$ cm a hmotností $82,4 \pm 4,8$ kg. Průměrná dosažená hodnota $VO_2\max$ se rovnala $55,98 \pm 4,12$ ml/min/kg, hodnota maximální srdeční frekvence dosáhla v průměru $190 \pm 7,59$ tepů/min.

5.2 Vztah poklesu srdeční frekvence a $VO_2\max$

Po dosažení maximálního volního vyčerpání byli probandi usazeni a byla zaznamenávána srdeční frekvence po dobu 300 s v 10sekundových intervalech. V grafu č. 1 vidíme trend poklesu srdeční frekvence od maximální hodnoty po dobu 300 s. V prvních 120 s byl pokles ztatečně rychlejší, kdy byl průměrný pokles $59,67 \pm 6,31$ tepů/min s následným zvolněním trendu. Průměrný absolutní pokles po 300 s se rovnal $79,19 \pm 4,21$ tepů/min. Na obrázku č. 2 vidíme absolutní pokles srdeční frekvence v časovém rozmezí 10–300 s společně s korelací vůči maximální spotřebě kyslíku.



Graf č. 1 Pokles srdeční frekvence v čase po dosažení maximálních hodnot

VO2max	64,9	52,5	51,6	59,8	58,6	56,4	55,4	55,2	50,0	55,4	
sekundy	absolutní pokles srdeční frekvence za minutu										correl
10	1,6	1,9	1,3	5,0	0,9	4,7	1,9	2,5	0,7	4,0	0,26
20	6,7	8,3	7,1	14,0	7,3	11,6	8,2	7,1	1,6	14,0	0,33
30	15,5	16,4	12,7	22,0	13,4	18,0	14,6	11,1	3,9	20,0	0,51
40	20,4	23,3	17,8	28,0	20,0	26,3	19,8	15,7	9,5	23,0	0,48
50	22,1	28,2	22,2	34,0	26,5	35,3	28,7	19,8	15,6	28,0	0,31
60	27,7	33,2	26,1	38,0	31,1	40,8	40,0	23,0	21,9	30,0	0,27
70	35,6	39,4	31,1	41,0	42,2	46,0	44,5	28,5	27,6	34,0	0,38
80	40,9	42,4	36,6	45,0	52,5	54,2	47,1	33,8	30,6	39,0	0,43
90	46,3	43,9	42,5	53,0	56,7	59,2	53,1	41,2	36,9	43,0	0,49
100	51,1	47,4	48,8	60,0	62,0	62,1	60,1	46,3	43,0	46,0	0,48
110	53,4	52,4	52,5	62,0	63,8	65,4	65,8	49,1	47,2	49,0	0,38
120	57,2	57,5	56,8	63,0	66,7	67,9	69,8	51,9	52,1	54,0	0,31
130	61,1	59,2	58,8	66,0	65,0	69,9	70,9	53,6	54,8	56,0	0,38
140	63,9	59,4	62,7	70,0	63,9	70,3	73,3	57,4	56,7	58,0	0,40
150	64,9	64,2	66,7	69,0	64,8	71,9	76,6	59,4	59,5	60,0	0,21
160	67,8	64,6	68,6	69,0	70,9	73,0	76,0	61,2	62,3	61,0	0,30
170	70,9	64,8	69,1	68,0	71,1	73,6	79,4	62,4	65,8	65,0	0,28
180	74,0	65,5	70,5	71,0	68,9	75,1	79,9	62,4	68,7	67,0	0,32
190	75,7	63,7	70,8	73,0	71,4	76,6	81,3	61,4	71,5	67,0	0,34
200	76,4	66,8	71,3	74,0	74,0	78,2	81,4	65,0	71,3	70,0	0,41
210	78,7	70,6	72,5	75,0	72,5	77,4	84,5	68,8	72,8	71,0	0,38
220	78,3	72,6	73,4	75,0	71,4	78,6	86,9	70,0	72,7	72,0	0,25
230	78,0	74,8	72,8	76,0	75,1	80,3	84,2	70,6	73,9	73,0	0,32
240	80,1	72,2	74,3	78,0	74,6	81,6	81,1	72,5	74,2	73,0	0,53
250	81,6	72,8	75,1	77,0	74,5	81,7	84,0	71,5	75,9	73,0	0,41
260	79,8	74,9	74,5	77,0	73,5	81,9	87,8	72,9	76,6	75,0	0,21
270	80,3	73,2	74,9	75,0	75,3	83,0	87,7	75,0	75,6	76,0	0,26
280	81,5	73,6	76,8	76,0	75,7	82,8	84,1	74,0	79,6	75,0	0,21
290	82,7	73,5	76,6	78,0	74,3	82,9	85,0	75,0	82,2	73,0	0,18
300	82,9	76,8	77,1	78,0	78,3	83,5	87,8	76,5	79,0	72,0	0,28

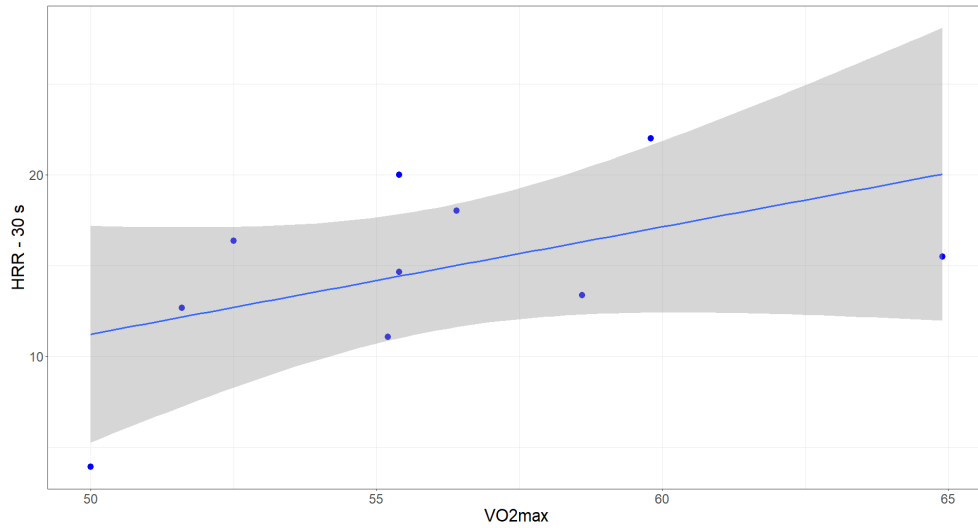
Tabulka č. 2 Absolutní pokles srdeční frekvence po zatížení ($VO_{2max} = \text{ml/min/kg}$,
absolutní pokles srdeční frekvence = $SF_{max} - SF_{10-300 \text{ s}}$)

V tabulce číslo 3 jsou shrnuty funkční parametry při maximálním volném zatížení testovaných osob.

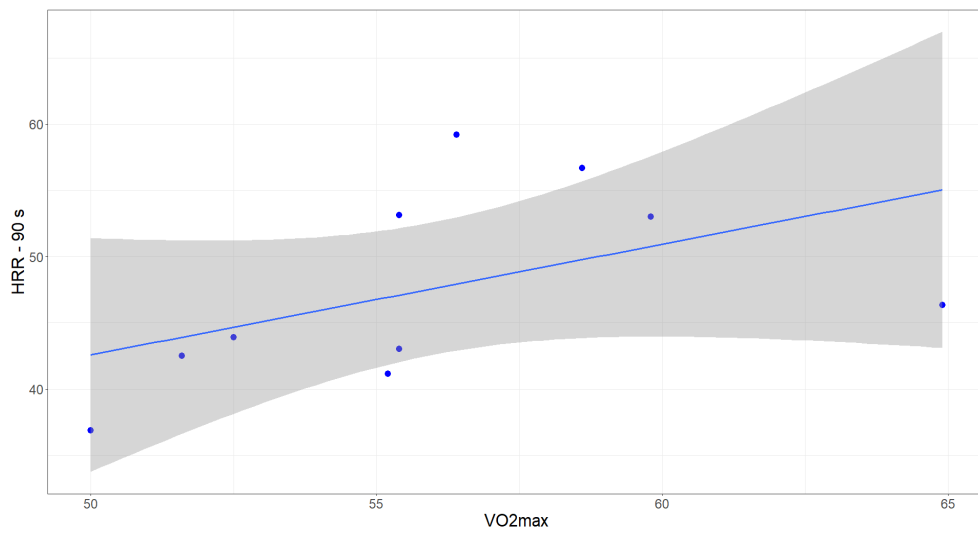
Funkční parametry	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SF	197	185	187	188	196	188	185	182	206	200
V'O2	5,06	4,17	4,69	4,82	4,80	4,23	5,04	4,55	4,25	4,55
V'O2/kg	64,9	52,5	51,6	59,8	58,6	56,4	55,4	55,2	50,0	55,4
V'CO2	5,96	5,14	5,53	5,62	5,34	4,74	6,07	5,42	4,98	5,19
V'O2/HR	28	23	25	26	25	23	27	26	21	23
V'E/V'O2	53,3	64,8	64,3	50,9	62,8	50,7	47,0	58,4	79,8	44,9
V'E/V'CO2	37,4	40,6	41,0	35,9	77,1	39,6	32,3	36,8	57,5	34,8
V'E	181, 1	158, 2	199,1	171	178,6	148,8	174,8	157,5	162,2	155
BF	64	72	65	86	66	55	65	58	84	67
VT	3,51	2,70	4,15	2,7	3,35	3,20	3,35	3,86	3,04	2,97
RER	1,55	1,62	1,67	1,49	1,56	1,39	1,57	1,65	1,67	1,47

Tabulka č. 3 Funkční hodnoty při maximálním volném úsilí (SF = tepů/min, VO₂ = L/min, VO₂/kg = ml/min/kg, VCO₂ = L/min, VO₂/HR = ml, VE = L/min, BF = BF/min)

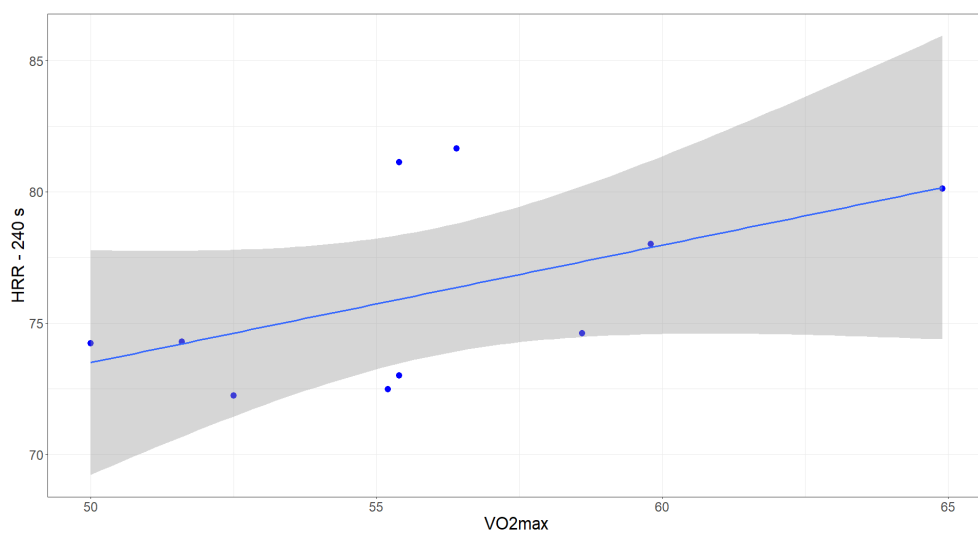
Pokles srdeční frekvence pozitivně koreloval s maximální hodnotou spotřeby kyslíku, kdy průměrná korelace se rovnala $r = 0,34 \pm 0,09$. Nejsilnější korelace byla po 30 ($r = 0,51$), 90 ($r = 0,49$) a 240 s ($r = 0,53$). V grafech č. 2–4 jsou znázorněny grafy lineární regrese poklesu srdeční frekvence a VO₂max v těchto časech. Naopak nejslabší korelace byla po 290 s. Průměrný pokles srdeční frekvence po 30 s byl $14,75 \pm 4,8$ tepů/min, po 90 s $47,58 \pm 7,03$ tepů/min a po 240 s $76,17 \pm 3,49$ tepů/min. Graf č. 5 znázorňuje všechny grafy lineární regrese VO₂max a poklesu srdeční frekvence v časovém rozmezí 0–300 s.



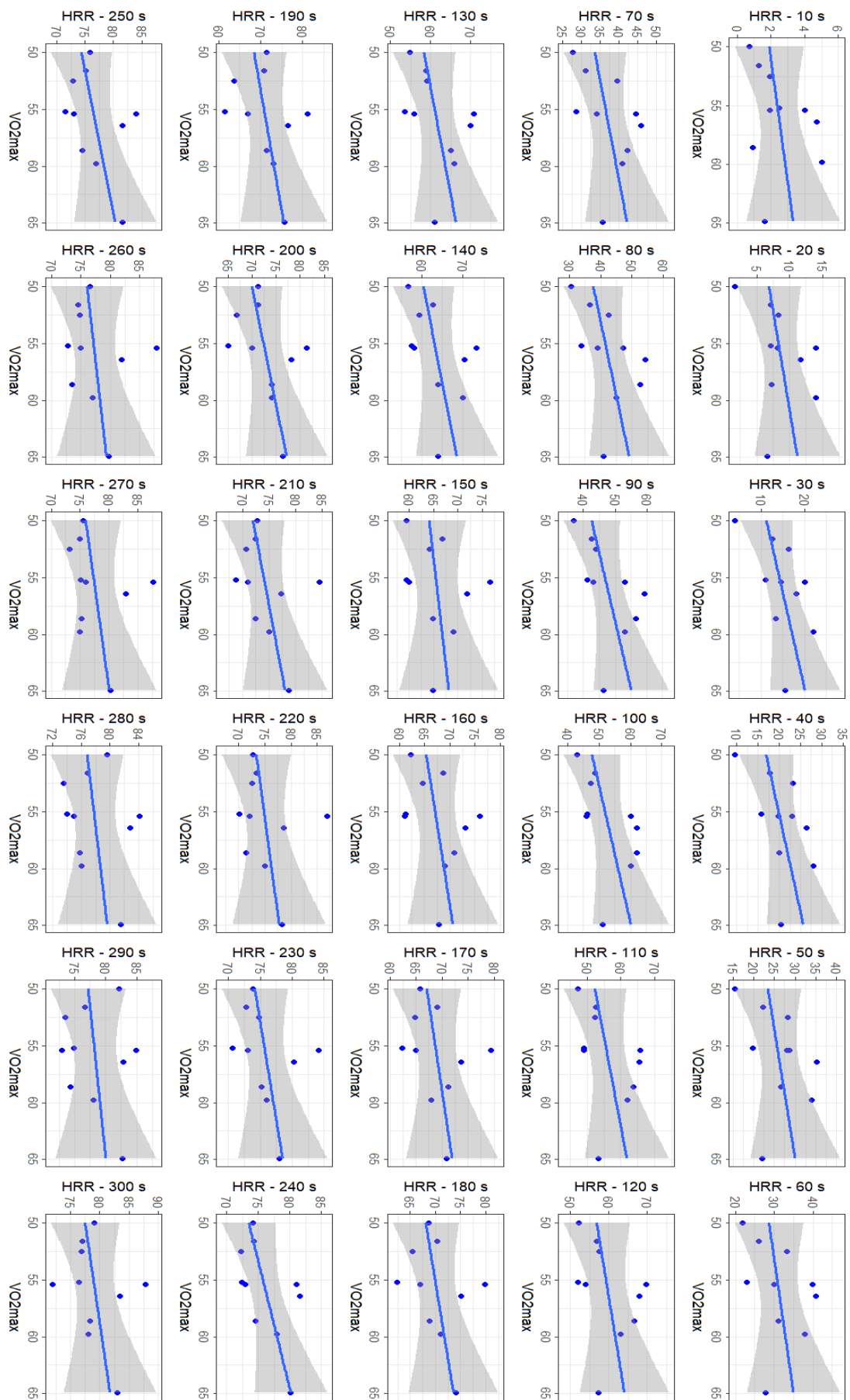
Graf č.2 Lineární regrese 30 s po usazení



Graf č. 3 Lineární regrese 90 s po usazení



Graf č. 4 Lineární regrese 240 s po usazení



Graf č. 5 Lineární regrese 10–300 s a VO₂max

5.1 Vztah funkčních parametrů na úrovni anaerobního prahu a VO₂max

Stanovení anaerobního prahu a jeho funkčních parametrů bylo zpětně určeno pomocí programu MetaSoft Studio. Korelace mezi VO₂max a funkčními parametry na úrovni anaerobního prahu byla blíží se nule. V tabulce číslo 4 jsou hodnoty funkčních parametrů na úrovni anaerobního prahu (VT2).

VT2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
%Sfmax	88,00	86,00	91,00	93,00	93,00	92,00	88,00	89,00	92,00	
SF	171,0 0	158,0 0	168,0 0	172,0 0	182,0 0	173,0 0	161,0 0	160,0 0	186,0 0	192
V'O ₂	4,04	2,89	3,87	3,7	4,09	3,61	3,76	3,86	3,86	3,66
V'O ₂ /kg	51,8	36,3	42,5	45,9	49,8	48,1	41,3	46,9	46,9	44,7
V'CO ₂	4,05	2,89	3,82	3,69	4,05	3,58	3,74	3,85	3,85	3,6
V'O ₂ /HR	24	18	23	21	22	21	23	24	24	19
V'E/V'O ₂	26,0	31,5	29,7	26,3	28,5	29,3	26,6	24,6	24,6	27,4
V'E/V'CO ₂	25,9	31,5	30,1	26,3	28,7	29,5	26,7	24,6	24,6	27,9
V'E	110,5	98,9	121,1	104,7	122,1	111,4	105,8	98,7	98,7	106
BF	37,00	56	43	52	40	39	41	27	27	41
VT	2,97	1,79	2,82	2,01	3,07	2,87	2,57	3,7	3,7	2,57
RER	1,00	1,00	0,99	1	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	0,98
VO ₂ max	64.9	52.5	51.6	59.8	58.6	56.4	55.4	55.2	50	55.4

Tabulka č. 4 Hodnoty na úrovni anaerobního (laktátového) prahu (SF = tepů/min, VO₂ = L/min, VO₂/kg = ml/min/kg, VCO₂ = L/min, VO₂/HR = ml, VE = L/min, BF = BF/min)

6 Diskuze

Cílem diplomové práce bylo zjistit a determinovat vztah mezi maximální spotřebou kyslíku a poklesem srdeční frekvence po zatížení, společně se vztahem k anaerobnímu prahu.

Maximální spotřeba kyslíku a pokles srdeční frekvence

Kardiorespirační zdatnost, běžně měřená maximální spotřebou kyslíku během stupňovaných fyzických testů, je prediktor morbidity, mortality a kardiovaskulárních onemocnění. Nicméně měření VO_{2max} v laboratorních podmínkách je drahé a často nevyhovující, a tedy ne moc využívané v klinické praxi. Alternativně je pokles srdeční frekvence po zatížení, což je index reaktivace parasympatiku, cenným posouzením VO_{2max} u starších lidí a sportovců, nicméně u mladých netrénovaných jedinců se podle našich výsledků nejedná o validní indikátor kardiorespirační zdatnosti (Thomas a kol., 2022). V rámci studie Thomas a kol. (2022) byli měřeni nejen muži, ale i ženy, což vzhledem k rozdílům zdatnosti a fyziologických předpokladů mezi mužskou a ženskou populací mohlo hrát značnou roli, průměr VO_{2max} se zde rovnal $36,5 \pm 7,9$ ml/kg/min a korelace mezi VO_{2max} a poklesem v 1. minutě ($r = 0,18$), 2. minutě (0,04) nebo 3. minutě ($r = 0,01$). Oproti této práci byli mezi testované subjekty zahrnuti jedinci netrénovaní z běžné populace a ženy, které mají oproti mužské populaci obecně odlišnou fyziologii, procentuální zastoupení svalové hmoty a hmoty aktivní.

U další studie bylo změřeno VO_{2max} společně s poklesem srdeční frekvence v intervalech 30 s, 60 s a 120 s. Měření VO_{2max} bylo uskutečněno v laboratorních podmínkách na ergometru, zatímco pokles srdeční frekvence výše zmíněných intervalů byl měřen po intermitentním zatížení v terénních podmínkách, konkrétně Yo-yo intermittent endurance level 1 (YYIE1) a level 2 (YYIE2), Yoyo intermittent recovery level 1 (YYIR1) a 2 (YYIR2). Triviální až malé asociace byly determinovány mezi VO_{2max} a poklesem srdeční frekvence ($r = -0,05-0,27$, $p > 0,05$) Výsledkem této studie bylo nedoporučení měření poklesu srdeční frekvence po zatížení směrem ke kardiorespirační zdatnosti a tréninkovému statutu u dospělých rekreačních hráčů fotbalu (Póvoas a kol., 2023) V této studii se znovu oproti naší práci zúčastnily netrénované osoby (VO_{2max} $41,7 \pm 5,7$ ml/kg/min), nicméně všichni muži. Dalším rozdílem bylo měření VO_{2max} v laboratorních

podmínkách, ale měření poklesu srdeční frekvence v podmínkách terénních po intermitentním zatížení, kde je z důvodu nekontrolovatelných vnějších podmínek počasí, spoluhráčů apod. velice těžké stanovit pokles bez stresorů, jež mohou pokles zpomalit a tím snížit validitu měření. Změna prostředí může hrát velkou roli v inhibici parasymptiku i utlumení aktivity sympatiku, a i proto může fakt, že se testovalo v terénních podmínkách, změnit charakter poklesu.

Dle Tulumena a kol. (2011) je pokles srdeční frekvence do 5 minut po konci zatížení v krátkodobém horizontu měsíce reprodukovatelný a v 1., 2., 3. ani 4. minutě nebyl statisticky významný rozdíl poklesu mezi měřeními. Měření probíhalo prvního, sedmého a třicátého dne měsíce na 52 zdravých dobrovolnících (průměrný věk 30 ± 10 let), kdy probandi absolvovali standardizovaný stupňovaný test na běžecím ergometru. Předpokládáme, že během měsíce, ve kterém byly subjekty testovány, nebyla signifikantní změna VO_2max , a tedy nebyla ani změna kardiorespirační zdatnosti a pokles srdeční frekvence může být ovlivněn touto hodnotou.

Tréninkové intervence používající konvenční aerobní zatížení podporovaly zrychlení poklesu srdeční frekvence společně se zlepšením kardiorespirační zdatnosti a aerobního výkonu, nicméně většina publikovaných studií se zaměřovala na rychlost poklesu srdeční frekvence před intervencí a po ní v daných časech po zatížení jakožto ukazatel výsledek tréninku bez zohlednění VO_2max . Místo předpokládané nízké citlivosti VO_2max pro sledování změny kardiorespirační zdatnosti krátkém časovém období a její nízkou absolutní reliabilitu, byl místo ní použit pokles srdeční frekvence jakožto více vypovídající ukazatel pro monitorování výkonu (Daanen a kol., 2012). Z výše zmíněného můžeme usoudit, že změny rychlosti poklesu srdeční frekvence nastávají rychleji než změna VO_2max a jsou tedy přesnějším ukazatelem v krátkodobém horizontu.

Testování bylo realizováno v laboratorním prostředí, kde dle Bunce (1990) dochází k dosažení skutečného maxima. Dosažení maxima dále závisí na volní motivace jedince.

Hypotéza 1: Mezi mírou poklesu srdeční frekvence a VO_2max bude silná pozitivní korelace ($r = 0,6-0,8$). Tato hypotéza nebyla potvrzena.

Hypotéza 2: Probandi s vyšší absolutní hodnotou VO_{2max} budou mít rychlejší pokles srdeční frekvence oproti probandům s hodnotou nižší. Tato hypotéza byla potvrzena.

Hypotéza 3: Probandi s vyšší absolutní hodnotou VO_{2max} budou mít procentuálně vyšší anaerobní práh v rámci srdeční frekvence. Tato hypotéza nebyla potvrzena.

7 Závěr

Pokles srdeční frekvence u trénovaných jedinců pozitivně koreluje s maximální spotřebou kyslíku. Tato korelace nicméně není dostatečně silná na to, aby se z poklesu srdeční frekvence po maximálním zatížení mohla spočítat maximální spotřeba kyslíku. Testování bylo realizováno v laboratorním prostředí, kde jsou subjekty schopni dosáhnout svého skutečného maxima. Po usazení byl subjekt zcela izolován a nedocházelo k vstupům vnějších vlivů a nebyl tedy ovlivněn pokles srdeční frekvence ke klidovým hodnotám. Pokles srdeční frekvence je využitelný pro starší nebo zdravotně oslabenou populaci ke zjištění kardiovaskulární zdatnosti. Z výsledků práce vyplývá, že naerobní práh nesouvisí s maximální spotřebou kyslíku ani poklesem srdeční frekvence. Je otázkou pro další studie, zda u zdatnějších jedinců s vyšší maximální spotřebou kyslíku by byla statistická závislost mezi $VO_2\text{max}$ a poklesem srdeční frekvence ke klidovým hodnotám vyšší. Nutné je podotknout, že pro tyto predikce je vzhledem k vnějším vlivům vhodnější laboratorní prostředí.

8 Referenční seznam

AMENT, W., VERKERKE G.J. *Exercise and Fatigue*. Sports med 39, 389–422 (2009). <https://doi.org/10.2165/00007256-200939050-00005>

BARTŮŇKOVÁ, S. *Fyziologie člověka a tělesných cvičení: učební texty pro studenty fyzioterapie a studia Tělesná a pracovní výchova zdravotně postižených*. 2. vyd. Praha: Karolinum, 2010. ISBN 978-80-246-1817-3.

BENEKE R. & DUVILLARD S. P. V. *Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events*. 1996. In: *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 28: 241–6.

BENSON, R a CONNOLY D. *Trénink podle srdeční frekvence: jak zvýšit kondici, vytrvalost, laktátový práh, výkon*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4036-2.

BERGSTROM, M., HULTMAN, E. *Relaxation and force during fatigue and recovery of the human quadriceps muscle: relations to metabolite changes*. Eur J Appl Physiol 1991; 418: 153–60

BERNACIKOVÁ, M. *Fyziologie*. Brno, 2012. Masarykova univerzita. ISBN 978-80210-5841-5.

BILLAT, V. L., RENOOUX, J. C., PINOTEAU, J., PETIT, B. & KORALSZTEIN, J. P. *Times to exhaustion at 100 % velocity at VO_{2max} and modelling of the time-limit / velocity relationship in elite long-distance runners*. 1994. In: *European Journal of Applied Physiology*; 69: 271–3.

BOWERS, R. W., FOX, E. L. *Sports Physiology*. 3rd. Ed. Boston: McGraw-Hill; 1988.

BRADLEY, S. J., KINGWELL, B. A., MCCONELL, G. K. *Nitric oxide synthase inhibition reduces leg glucose uptake but not blood flow during dynamic exercise in human*. Diabetes 1999; 48: 1815–21

BROOKS, G. A., MERCIER, J. *Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the „crossover“ concept*. Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985) vol. 76,6 (1994): 2253–61. DOI:10.1152/jappl.1994.76.6.2253

BUNC, V. *Biokybernetický přístup k hodnocení reakce organismu na tělesné zatížení*. Praha, 1990. Univerzita Karlova. ISBN 80-7066-214-X.

- BURNLEY, M. & JONES, A. M. *Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance*. 2007. In: *European Journal of Sports Sciences*; 7: 63–79.
- BURNLEY, M., DOUST, J. H. & VANTAHALO, A. *A 3-min all-out test to determine peak oxygen uptake and the maximal steady state*. 2006. In: *Medicine & Science in Sports & Exercise*; 38: 1995–2003.
- COOKE, R., FRANKS, K., LUCIANI, G. B., et al. *The inhibition of rabbit skeletal muscle contraction by hydrogen ions and phosphate*. *J Physiol* 1988; 395: 77–97.
- COOPER, K. H. *A means of assessing maximal oxygen intake: correlation between field and treadmill testing*. *JAMA*. 1968; 203 (3) 201–04.
- COFFEY, V. G., HAWLEY, J. A. *The molecular bases of training adaptation*. *Sports Med* [online]. 2007, 37(9): 737–63 [cit. 1.11.2022]. DOI: 10.2165/00007256-20073709000001.
- COYLE, E. F., COGGAN, A. R., HEMMERT, M. K., et al. *Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate*. *J Appl Physiol* 1986; 61: 165–72
- DAANEN, H. A., LAMBERTS, R. P., KALLEN, V. L., JIN, A., VAN MEETEREN, N. L. *A systematic review on heart-rate recovery to monitor changes in training status in athletes*. *Articolo in rivista*. 2012;7(3):251–60. Epub 2012/02/24. pmid:22357753.
- DAVISON, R. C. R., SMITH, P., HOPKER, J., PRICE, M. J., HETTINGA, F., TEW, G., & BOTTOMS, L. (Eds.). (2022). *Sport and exercise physiology testing guidelines: Volume ii – exercise and clinical testing: the british association of sport and exercise sciences guide*. Taylor & Francis Group.
- DOVALIL, J. & CHOUTKA M. *Výkon a trénink ve sportu*. 4. vyd. Praha [i.e. Velké Přílepy]: Olympia, 2012. ISBN 978-80-7376-326-8.
- DEMPSEY, J. A., MILLER, J. D., ROMER, L. M. *The respiratory system*. In: Tipton CM, editor. *ACM'S Advanced Exercise Physiology* [online]. Philadelphia (PA): Lippincott Williams a Wilkins; 2006. pp. [cit. 19.8.2022]. DOI 10.1007/978-1-4614-7543-9.

- FELIG, P., CHERIF, A., MINAGAWA, A., WAHREN, J. *Hypoglycemia during prolonged exercise in normal men*. N Engl J Med [online]. 1982, 15;306(15): 895–900. [cit. 3.11.2022] DOI:10.1056/NEJM198204153061503.
- FRANDBSEN, U., LOPEZ-FIGUEROA, M., HELLSTEN, Y. *Exercise regulation of glucose transport in skeletal muscle*. Am J Physiol 1997; E1039-51
- GALASSETTI, P., COKER, R. H., LACY, D. B., CHERRINGTON, A. D., WASSERMAN, D. H. *Prior exercise increases net hepatic glucose uptake during a glucose load*. Am J Physiol [online]. 1999, 276(6): E1022-9. [cit. 4.11.2022] DOI: 10.1152/ajpendo.1999.276.6.E1022.
- GALERTO VÁ, A. *Stanovení energetického výdeje po dokončení cvičení silového vytrvalostního charakteru*. Praha, 2014. Bakalářská práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta.
- GOLDING, L., SINNING, W. Y. *Way to Physical Fitness: The Complete Guide to Fitness Testing and Instruction: YMCA of the USA*. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers, 1989, 89–106.
- HARMS, C. A. *Does gender affect pulmonary function and exercise capacity?* Respir Physiol Neurobiol [online]. 2006, 151:124-131. [cit. 5.11.2022] DOI: 10.1016/j.resp.2005.10.010
- HAVLÍČKOVÁ, L. *Fyziologie zátěže I: obecná část. 2. přeprac. vyd.* Praha: Karolinum, 1999. ISBN 80-7184-875-1.
- HAYASHI, T., WOJTASZEWSKI, J. F., GOODYEAR, L. J. *Exercise regulation of glucose transport in skeletal muscle*. Physiol 1997; 273: E1039-51
- HELLER, J. *Zátěžová funkční diagnostika ve sportu: východiska, aplikace a interpretace*. Praha: Univerzita Karlova, Karolinum, 2018. ISBN 978-80-246-3359-6.
- HOLEČEK, M. *Regulace metabolismu základních živin u člověka*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, nakladatelství Karolinum, 2016. ISBN 978-80-246-2976-6.

KARATZAFERI, C., MYBURGH, K. H., CHINN, M. K., et al. *Effect of an ADP analog on isometric force and ATPase activity of active muscle fibers*. Am J Physiol 2003; 284: C816-25.

KENNEY, W. L., WILMORE, H. J. & COSTILL, L. D. *Physiology of sport and exercise*. 5th ed. Champaign, IL: Human Kinetics, c2012. ISBN 978-0-7360-9409-2.

KITTNAR, O. & MLČEK, M. *Atlas fyziologických regulací: 329 schémat*. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-2722-6.

KITTNAR, O., MLČEK, M. *Regulace v lékařské fyziologii: atlas schémat*. Praha: Grada Publishing, 2021. ISBN 978-80-271-1240-1.

KITTNAR, O. *Přehled lékařské fyziologie*. Praha: Grada Publishing, 2021. ISBN 978-80-271-1025-4.

LAMB, G. D., STEPHENSON D.G. *Effects of intracellular pH and $[Mg^{2+}]$ on excitation contraction coupling in skeletal muscle fibres of the rat*. J Physiol 1994; 478: 331-9.

LEGER, L. A., MERCIER, D. *The multistage 20 meter shuttle run for aerobic fitness*. J Sports Sci. 1988; 6 (2): 93–101.

LEHNERT, M., NOVOSAD, J., NEULS, F.. *Základy sportovního tréninku*. Vyd. 1. Olomouc: Hanex, 2001. 89 s. ISBN 80-85783-33-9.

LEHNERT, M. *Kondiční trénink*. Olomouc, 2014. Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-4368-0.

LEHNINGER, A. L. *Contraction and motion (chapter 11)*. In: Lehninger AL, editor. *Bioenergetics: the molecular basis of biological energy transformations*. 2nd ed. New York: WA Benjamin Inc., 1971: 211-24 ISBN 0-8053-6103-0.

MÁČEK, M., RADVANSKÝ, J. *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Praha: Galén, 2011. ISBN 978-80-7262-695-3.

MATTI, L. T. C. *Comparison between direct and predicted maximal oxygen uptake measurement during cycling*. Military Medicine. 2013; 178(2): 234–38.

MAYES, P. A. *Integration of metabolism and the provision of tissue fuels (chapter 29)*. In: Murray RK, Granner DK, Mayes PA, Rodwell PA, editors. Harper's

Biochemistry. 23rd ed. Norwalk (VA): Appleton & Lange, 1993: 279-92 (ISBN 0-8385-3658-1).

MCARDLE, W. D., KATCH, F. I. V. L., editors. *Exercise physiology: energy III and human performance*. 4th ed. Baltimore (MD): Williams & Wilkins, 1996 (ISBN 0-683-05731-6).

MCARDLE, WILLIAM D., FRANK I. K., VICTOR L. K. *Exercise Physiology: Nutrition, Energy, and Human Performance*. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins, 2010. Print. ISBN 978-0781-7978-18

MELICHNA, J. *Pohyb a morfologická adaptabilita kosterního svalu*. Praha: Karolinum, 1990. ISBN 80-7066-2549.

MINOTTI, J. R., JOHNSON E.C., HUDSON T.L., a kol. *Forearm metabolic asymmetry detected by ³¹P-NMR during submaximal exercise*. J Appl Physiol 1989; 67: 324-9.

MURRAY, R. K. *Muscle (Chapter 58)*. In: Murray RK, Granner DK, Mayes PA, et al., editors. Harper's Biochemistry. 23rd ed. Norwalk (VA): Appleton & Lange, 1993: 647 ISBN 0-8385-3658-1.

MYBURG, K. H. *Can any metabolites partially alleviate fatigue manifestation at the cross bridge?* Med Sci Sports Exerc 2004; 36: 20-7

PETTE, D., VRBOVÁ, G. *Adaptation of mammalian skeletal muscle fibers to chronic electrical stimulation*. Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology [online]. 1992, Volume 120. [cit. 10.10.2022] DOI: 10.1007/BFb0036123

POTMA, E. J., VAN GRAAS, I. A., STIENEN, G. J. M. *Effects on myofibrillar ATPase activity in fast and slow skeletal muscle fibres of the rabbit*. Biophys J 1994; 67:2404-10.

PÓVOAS, S., KRUSTRUP, P., CASTAGNA, C. *Validity and sensitivity of field tests' heart-rate recovery assessment in recreational football players*. (2023) PLOS ONE 18(3): e0282058. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282058>

POURMAN, R. *Metabolic myopathies: a diagnostic evaluation*. Neurol Clin 2000; 18: 1-13

POWERS, S. K., HOWLEY, E. T., editors. *Exercise physiology: theory and application to fitness and performance*. 2nd ed. Madison (WI) and Dubuque (IA): WCB Brown & Benchmark Publishers, 1994. ISBN 0-697-12657-9.

RATAMESS, N. A., FALVO, M. J., MANGINE, G. T., HOFFMAN, J. R., FAIGENBAUM, A. D. *The effect of rest interval length on metabolic responses to the bench press exercise*. Eur J Appl Physiol [online]. 2007, 100:1-17.[cit. 9.10.2022]. DOI 10.1007/s00421-007-0394-y.

ROKYTA, R. *Fyziologie a patologická fyziologie: pro klinickou praxi*. Praha: Grada Publishing, 2015. ISBN 978-80-247-4867-2.

SHARKEY, B. J., GASKILL, S. E. *Fyziologie sportu pro trenéry*. Přeložil M. BARDA. Praha: Mladá fronta, 2019. Edice Českého olympijského výboru. ISBN 97880-204-4532-2.

SHEEL, A. W., GUENETTE, J. A. *Mechanics of breathing during exercise in and women: sex versus body size differences?* Exerc Sport Sci Rev [online]. 2008, 36:128-134. [cit. 10.10.2022] DOI: 10.1097/JES-0b013e31817be7f0.

SIGAL, R. J., KENNY, G. P., WASSERMAN, D. H., CASTANEDA-SCEPPAC. *Physical activity/exercise and type 2 diabetes*. Diabetes Care [online]. 2004, 27(10):2518-39.[cit. 11.10.2022] DOI: 10.2337/diacare.27.10.2518.

SCHNEIDERKA, P. a kol. *Kapitoly z klinické biochemie*. 2. vydání. Praha: Karolinum, 2004. ISBN 80-246-0678-X.

STORER, T. W., DAVIS, J. A. *Accurate prediction of VO_{2max} in cycle ergometry*. In: Medicine and Science in Sports and Exercise. 1990; 22(5):704-12.

STRUHÁR, I. *Zátěžová diagnostika v tělovýchovné a sportovní praxi*. Vydání druhé, doplněné. Brno: Masarykova univerzita, 2019. ISBN 978-80-210-9431-4.

ŠVÍGLEROVÁ, J. *Hyperkapnie* [online]. [cit. 10.5.2021]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20160416224425/http://wiki.lfpstudium.cz/index.php/Hyperkapnie>

THOMAS, J. M., BLACK, W. S., KERN, P. A., PENDERGAST, J. S., CLASEYL, J. L. *Heart rate recovery as an assessment of cardiorespiratory fitness*

in young adults. J Clin Exerc Physiol. 2022;11(2):44-53. doi:10.31189/2165-6193-11.2.44

TULUMEN, E., KHALILAYEVA, I., AYTEMIR, K., EERGUN BARIS KAYA, F.E.S.C., SINAN D. O., AKSOY, H., KOCABAS, U., OKUTUCU, S., TOKGOZOGLU, L., KABAKCI, G., OZKUTLU, H. & OTO, A. *The Reproducibility of Heart Rate Recovery after Treadmill Exercise Test*. *Annals of Noninvasive Electrocadiology*, (2011),16: 365-372. <https://doi.org/10.1111/j.1542-474X.2011.00464.x>

WASSERMAN, K., WHIPP B. J., KOYAL S. N. & BEAVER W.L. *Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise*. 1973. In: *Journal of Applied Physiology*; 35: 236-43.

WASSERMAN, D. H. *Four grams of glucose*. *Am J Physiol Endocrinol Metab* [online]. 2009, Jan;296(1): E11-21 [cit. 11.10.2022] DOI: 10.1152/ajpendo.90563.

WESTERBLAD, H., BRUTON, J. D., LÄNNERGRÉN, J. *The effect of intracellular pH on contractile function of intact, single fibres of mouse muscle declines with increasing temperature*. *J Physiol* 1997; 500: 193-204.

WICKHAM, H. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York, 2016.

WILKERSON, D. P., KOPPO, K., BARSTOW, T. J. & JONES, A. M. *Effect of work-rate on the functional gain of Phase II Pulmonary O₂ uptake response to exercise*. 2004. In: *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 142: 211-23.

ŽIVANIC, S., ŽIVOTIC, V.M., MIJIC, R., DRAGOJEVIC, R. *Aerobna sposobnost i njena procena Astrandovim testom opterecenja na biciklergometru*. Beograd: Udruženje za medicínu sporta Srbije; 1999.

Seznam grafů

Graf 1 – Pokles srdeční frekvence v čase po dosažení maximálních hodnot

Graf 2 – Lineární regrese 30 s po usazení

Graf 3 – Lineární regrese 90 s po usazení

Graf 4 – Lineární regrese 240 s po usazení

Graf 5 – Lineární regrese 10–300 s a VO_{2max}

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Hodnoty VO_{2max} u vybraných sportů

Tabulka 2 – Absolutní pokles srdeční frekvence po zatížení

Tabulka 3 – Funkční hodnoty při maximálním volném úsilí

Tabulka 4 – Hodnoty na úrovni anaerobního (laktátového) prahu

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Grafický abstrakt testování

9 Přílohy

Příloha 1 – vyjádření etické komise UK FTVS 1

Příloha 2 – vyjádření etické komise UK FTVS 2

Příloha 3 – informovaný souhlas pro participanty 1

Příloha 4 – informovaný souhlas pro participanty 2

Příloha 1 – Vyjádření etické komise UK FTVS 1

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

Žádost o vyjádření Etické komise UK FTVS

k projektu výzkumné, kvalifikační či seminární práce zahrnující lidské účastníky

Název projektu: Zjišťování srdeční frekvence po zatížení

Forma projektu: výzkumná práce - diplomová práce

Období realizace: listopad 2022 – prosinec 2022

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

Předkladatel: Bohuslav Cabrnch, Bc, UK FTVS LSM

Hlavní řešitel: Bohuslav Cabrnch, Bc, UK FTVS LSM

Místo výzkumu (pracoviště): Laboratoř sportovní motoriky

Spoluřešitel(é):

Vedoucí práce (v případě studentské práce): PhDr. Pavel Hráský, PhD. UK FTVS, LSM

Finanční podpora:

Popis projektu: Cílem projektu je zjistit rozmezí snížení srdeční frekvence po zátěži. Testování budou muži, kteří budou podrobena stupňovanému fyzickému testu na běhacím ergometru do *vita maxima*, probandí nejdříve poběží 4 minuty s rychlostí 8 km/h beze sklonu, poté se zvýší sklon na 5 % a bude rychlost zvyšovat každou minutu o 1 km/h, poté budou několik minut v klidu. Po celou dobu budou probandí monitorováni hrudním pásem a během zatížení jim bude monitorována nejen srdeční frekvence, ale i respirace. Metoda bude experimentální. Testy budou realizovány v laboratoři sportovní motoriky.

Charakteristika účastníků výzkumu: 10 mužů, studenti FTVS, v rozmezí 22-26 let, s platnou lékařskou prohlídkou od sportovního lékaře. Probandi budou seznámeni s průběhem testu, budou mít předchozí zkušenost s během na běhátku a budou seznámeni, jak bezpečně běhátko opustit. Do projektu nemůže být zařazen proband, který bude mít zranění, akutní zejména infekční onemocnění nebo proband s jakýmkoliv onemocněním či omezením pohybového aparátu ani s kardiovaskulárním onemocněním či v úrazu a v rekonvalescenci po onemocnění či úrazu. Probandy do výzkumu bude vybírat PhDr. Pavel Hráský, PhD.

Zajištění bezpečnosti: Jedná se o neinvazivní metodu výzkumu. Výzkum proběhne za standardních bezpečnostních podmínek proškolenými pracovníky laboratoře dle instrukcí výrobce zaškolenou obsluhou při dodržení bezpečnostních pravidel. Budou zajištěny adekvátní podmínky prostředí a adekvátní příprava účastníků k provádění aktivit v rámci daného výzkumu. Rizika prováděného výzkumu nebudou vyšší než běžně očekávaná rizika u aktivit a testování prováděných v rámci tohoto typu výzkumu. Bezpečnost bude zajištěna standardním způsobem. Riziko testu *vita maxima* je spadnutí z běhátka, jež bude minimalizováno jednak poučením, jak bezpečně opustit běhátko, jednak budou probandí pod neustálým dohledem a v případě problému bude běhátko co nejdříve zastaveno. Probandi budou jisti zvláštním systémem s kladkou, který je k dispozici v laboratoři sportovní motoriky na běhacím ergometru. Neustálý dohled během testu bude zajišťovat PhDr. Pavel Hráský, PhD. a Bc. Bohuslav Cabrnch

Etické aspekty výzkumu: Výzkumu se nebudou účastnit vulnerabilní jedinci.

Potenciální střet zájmů: Výzkum není prováděn pro žádnou instituci či organizaci. Nejsem v pracovním (ani rodinném) vztahu k žádnému účastníkovi výzkumu. 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: věk, pohlaví, zdravotní stav (lékařská zátěžová prohlídka), data získaná výše uvedenými metodami - které budou bezpečně uchovány na heslem zajištěném počítači v uzamčeném prostoru, přístup k nim bude mít PhDr. Pavel Hráský, PhD. a Bc. Bohuslav Cabrnch. 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 1 dne po testování anonymizována.

Příloha 2 – Vyjádření etické komise UK FTVS 2

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

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.

Pořizování fotografií/videí/audio nahrávek účastníků: Během výzkumu nebudou pořizovány žádné fotografie, audionahrávky ani videozáznamy.

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

Text informovaného souhlasu (IS): přiložen zjednodušený IS ve formě úvodu k dotazníku přiložen

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.

Potvrzují, 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: 2.11. 2022

Podpis předkladatele: 

Datum a podpis odpovědného pracovníka z místa výzkumu:

Vyjádření Etické komise UK FTVS

Složení komise: Předsedkyně: doc. PhDr. Irena Parry Martinková, 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 jednatelným číslem: 

dne: 

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 UK FTVS KARLOVA
Fakulta tělesné výchovy a sportu
Josef Martího 31, 162 52, Praha 6
- 20 -


podpis předsedkyně EK UK FTVS

Příloha 3 – informovaný souhlas pro participanty 1

UNIVERZITA KARLOVA

FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU

José Martího 31, 162 52 Praha 6-Vešelavín

INFORMOVANÝ SOUHLAS k žádosti 192/2022

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 zjišťování srdeční frekvence po zatížení prováděné v laboratoři sportovní motorika na Fakultě tělesné výchovy a sportu.

Projekt bude probíhat v období od listopadu 2022- do prosince 2022
Výzkum bude realizován v souladu s platnými epidemiologickými opatřeními Ministerstva zdravotnictví ČR.

Cílem výzkumného projektu je zjistit případnou korelaci mezi poklesem srdeční frekvence po maximálním zatížení a VO_{2max} .

Budete se účastnit zátěžového testu na běhátku, kde poběžíte do Vašeho subjektivního maxima, běhátko opustíte a bude Vám měřena srdeční frekvence po dobu 5 minut. Pod dohledem PhDr. Pavel Hráský, PhD.
Doba vyšetření se bude pohybovat okolo 30 minut. Rizika projektu bude maximální zatížení, při kterém je riziko spadnutí z běhátka, které bude minimalizováno jednak poučením, jak bezpečně opustit běhátko, jednak budete pod neustálým dohledem a v případě problému bude běhátko co nejdříve zastaveno. Budete jistiženi závěsným systémem s kladkou, který je k dispozici v laboratoři sportovní motoriky na běhacím ergometru. Vaší bezpečnost bude zajišťovat PhDr. Pavel Hráský, PhD. a Bc. Bohuslav Cabrnch
Jedná se o neinvazivní metodu výzkumu. Výzkum proběhne za standardních bezpečnostních podmínek proškolenými pracovníky laboratoře dle instrukcí výrobce zaškolenu obsluhou při dodržení bezpečnostních pravidel. Budou zajištěny adekvátní podmínky prostředí a adekvátní příprava účastníků k provádění aktivit v rámci daného výzkumu. Rizika prováděného výzkumu nebudou vyšší než běžně očekávaná rizika u aktivit a testování prováděných v rámci tohoto typu výzkumu. Bezpečnost bude zajištěna standardním způsobem.

Z výzkumu Vám následně budou poskytnuta Vaše data (VO_{2max} , aerobní práh, anaerobní práh, SF_{max})

Do projektu nemůže být zařazen proband, který bude mít zranění, akutní zejména infekční onemocnění nebo proband s jakýmkoliv onemocněním či omezením pohybového aparátu ani s kardiovaskulárním onemocněním či v úrazu a v rekonvalescenci po onemocnění či úrazu

Vaše účast v projektu je dobrovolná a nebude finančně ohodnocená

S celkovými výsledky a závěry výzkumného projektu se můžete seznámit v diplomové práci v studentském informačním systému (SIS), nebo na e-mail adrese: bcabrnch@gmail.com

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, věk, pohlaví, zdravotní stav (lékařská zátěžová prohlídka), které budou bezpečně uchovány na heslem zajištěném počítači v uzamčeném prostoru, přístup k nim bude mít PhDr. Pavel Hráský, PhD. a Bc. Bohuslav Cabrnch. 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 1 dne po testování anonymizována. Získaná data budou zpracovávána, bezpečně uchována a publikována

Příloha 4 – informovaný souhlas pro participanty 2

UNIVERZITA KARLOVA

FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU

Josef Martího 31, 162 52 Praha 6-Vešelavín

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.

Během výzkumu nebudou pořizovány fotografie, audionahrávky ani videozáznamy.

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

Jméno a příjmení předkladatele hlavního řešitele projektu: Bc. Bohuslav Cabrnach

Jméno a příjmení osoby, která provedla poučení: Bc. Bohuslav Cabrnach 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 od sportovního lékaře 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 a příjmení účastníka Podpis: