

UNIVERZITA KARLOVA

Fakulta tělesné výchovy a sportu

**Zjišťování srdeční frekvence po zátěži**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce:

**PhDr. Pavel Hráský, Ph.D.**

Vypracoval:

**Bohuslav Cabrnok**

Praha, 2021

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod odborným vedením PhDr. Pavla Hráského, Ph.D. a výhradně s využitím pouze 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

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé práce PhDr. Pavlu Hráskému, Ph.D. za odborné vedení, pomoc a trpělivost při zpracování této bakalářské práce. Děkuji též své rodině za neochvějnou podporu, jež mi při psaní poskytovala.

## **Abstrakt**

**Název:** Zjišťování srdeční frekvence po zátěži

**Cíle:** Cílem práce je shrnutí problematiky reakce organismu na zátěž a jeho návratu k výchozím hodnotám, rešerše literatury na danou problematiku.

**Metody:** Bakalářská práce se skládá ze dvou částí. První část tvoří současný stav bádání ohledně fyziologie člověka, fyziologii zátěže a srdeční frekvence. Druhá část je deskriptivně-analytická, kdy je vytvořena literární rešerše z odborných článků, které byly nalezeny přes klíčová slova ve vyhledávací databázi.

**Výsledek:** Rozdíly u návratu srdeční frekvence k výchozím hodnotám mezi rekreačními sportovci a běžnou populací jsou větší než mezi rekreačními a elitními sportovci.

**Klíčová slova:** submaximální zatížení, maximální zatížení, člověk, fyziologie zatížení, návrat tepové frekvence

## **Abstract**

**Title:** Determining the heart rate after exercise

**Objectives:** the goal of this bachelor thesis is to summarize today's knowledge of response of the organism to stress and his comeback to resting values.

**Methods:** This bachelor thesis consists of two parts. The first is today's knowledge of human physiology, exercise physiology and heart rate. The second one is descriptive-analytical, where is made a literary research, which was found after entering key words in a search database.

**Results:** The differences in return of heart rate to baseline between recreational athletes and general population are greater than between recreational and elite athletes.

**Key words:** submaximal exercise, maximal exercise, human, physiology of exercise, heart rate recovery

# Obsah

1 Úvod .....	7
2 Obecná část .....	8
2.1 Fyziologie zatížení a zatěžování .....	8
2.1.1 Kardiovaskulární systém .....	8
2.1.1.1 Reaktivní a adaptační změny oběhového systému na zatížení .....	8
2.1.1.2 Neurohumorální regulace .....	12
2.1.1.3 Reaktivní změny v krvi při pracovním zatížení .....	14
2.1.1.4 Reaktivní změny v krevní plazmě .....	14
2.1.1.5 Adaptace vnitřního prostředí na zatěžování .....	15
2.1.2 Dýchací systém .....	15
2.1.2.1 Plicní objemy a kapacity .....	16
2.1.2.2 Plicní adaptace na zatížení .....	17
2.1.2.3 Reaktivní a adaptační změny dýchacího systému na zatížení .....	18
2.1.2.4 Kyslíkový deficit, kyslíkový dluh .....	20
2.1.2.5 Spotřeba kyslíku, maximální spotřeba kyslíku .....	20
2.1.2.6 Aerobní, anaerobní práh .....	21
2.1.3 Centrální soustava .....	21
2.1.3.1 Somatické a vegetativní nervové regulace, hormonální regulace při zatížení .....	21
a v zotavení .....	21
2.1.4 Biochemické změny .....	23
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 .....	23
2.1.4.2 Biochemie svalové kontrakce a metabolické pochody, kterými svalová buňka .....	24

získává energii pro svou činnost, limity kapacity těchto pochodů.....	24
2.1.4.3 Dělení svalové tkáně .....	26
2.1.4.4 Využívání zdrojů energie ve svalu v závislosti na intenzitě, době trvání výkonu.....	26
a typu zatížení .....	26
2.1.4.5 Bazální metabolismus, pracovní metabolismus .....	27
2.1.4.6 Metabolismus tukové tkáně při zatížení a v zotavení .....	28
2.1.4.7 Jaterní tkáň při zatížení a v zotavení .....	29
2.1.4.8 Metabolismus svalové tkáně a její adaptace na různé typy fyzického zatěžování.....	30
2.2 Srdeční Frekvence .....	32
2.2.1 Zjišťování srdeční frekvence.....	32
2.2.2 Zátěžové testy.....	32
3 Postup literární rešerše.....	35
3.1 Stanovení klíčových slov .....	35
3.2 Základní vyhledávání v databázi Scopus .....	35
3.3 Vytvoření přehledové tabulky z vyhovujících studií .....	36
3.4 Porovnání výsledků.....	48
3.5 Vyvození závěrů.....	49
4 Závěr .....	50
5 Zdroje.....	51
6 Přílohy .....	58

# 1 Úvod

Srdeční frekvence je jak mezi sportovci, tak i u běžné populace čím dál více využívána, jakožto ukazatel intenzity a je pravidelně sledována. Elitní sportovci se řídí podle srdeční frekvence hlavně u vytrvalostních sportů, kde je možnost udržet požadované tempo delší dobu a srdeční frekvence je relativně stálá. Rekreační sportovci se taktéž snaží držet se určitých zón, ve kterých očekávají větší zlepšení v provozovaném sportu, nejčastěji běhání, či kolo. Ne všichni se však striktně drží požadované frekvence a srdeční frekvence si měří spíše pro zajímavost, nežli cílevědomý determinant intenzity výkonu. Návrat srdeční frekvence po maximálním či submaximálním zatížení není mezi běžnou populací běžné, častěji se s tím můžeme setkat u výkonnostních sportů.



## 2 Obecná 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 et al., 2001).

Zatěžování je záměrné, dlouhodobé a kumulované působení tréninkových podnětů na organismus s cílem zvyšování výkonnosti, 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

*„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, které je motorem 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).

Srdeční frekvence (SF), jež je na periférii hodnocena jako tepová frekvence (TF), se nemění pouze při vlastním výkonu, ale i před ním a po něm (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, steady-state. V této fázi změn se uplatňují jak reflexy podmíněné, mající vztah ke svalové činnosti, tak i reflexy nepodmíněné, vycházející z 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 závislý 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). HRR (Heart rate recovery) 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 neměnné. Hodnoty systolického objemu při zátěži jsou závislé na rozměrech srdce, kontraktilitě myokardu, plnění dutin a periferní rezistenci (Havlíčková, 1999).

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

*„Tepový kyslík je hodnota vypočtená z minutové spotřeby kyslíku a srdeční frekvence ( $VO_2/SF$ ).“* 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 vyšší než u žen (Havlíčková, 1999)

Periferní složku představují cévy, vlastní distribuční systém, se svou částí distribuční: tepny (arterie), difuzní: vlasečnice (kapiláry) a sběrnou: žily (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 cévním řečišti na podkladě kompenzační vazokonstrikce. V některých orgánech útrobní oblasti a vylučovacího systému, ze začátku i v kůži, dochází k vasokonstrikci. 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 (Havlíčková, 1999).

Podle Havlíčkové (1999) k dalším změnám dochází při zvyšování teploty jádra. V tomto případě je třeba zvýšení možnosti 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 srdeční svalu je lepší, má bohatší

kapilární síť. Narozdíl od vytrvalostního tréninku, po kterém vzniká tzv. excentrická, 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 průměrné 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, 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 netréňovaného. 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 netréňovaného a trénovaného člověka. V klidu a při standardním zatížení má trénovaný jedinec nižší hodnoty než jedinec netréňovaný, 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 netréňovaného jedince v klidu 60-80 ml, u trénovaného jedince 80-100 ml. Se zvyšujícím 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 netréňovaného, zvyšuje se tedy na hodnoty 150-200 ml.

Minutový objem srdeční je v klidu i při stupňovaném zatížení stejný u trénovaného i netréňovaného člověka. Pouze při maximálním zatížení dosahuje trénovaný jedinec až o 10 l vyšší hodnotu než jedinec netréňovaný. Hodnoty minutového objemu srdečního se u populace pohybují mezi 20-25 l/min.  $Q$  je totiž výslednicí dvou složek, 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.

Už při zátěži nižší intenzity se snižuje aktivita parasymptiku a aktivita sympatiku stoupá. Čím je 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 projeví naplno 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 štěpení glykogenu v játrech a ve svalech vlivem 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 periferii 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 zátěže produkce adrenalinu postupně klesá, vzniká určitá adaptace, srdeční frekvence klesá, ale směrem k vyššímu vlivu oblasti metabolismu, 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).

Podle Máčka a Radvanského (2011) růstový hormon podporuje lipolýzu a potlačuje uvolňování energie ze sacharidů, což znamená, že šetří glykogen, který je pak možné využít při zvýšení intenzity zatížení a lze tedy očekávat jeho vzestup během zatěžování.

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-tyroidálních hormonů vyvolávající 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 tryjodtyroninu, 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 produkovány 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, zvýšení srdeční frekvence a síly srdečních stahů a dále se podílejí na regulaci růstu celého těla (Kittnar, 2021).

Hormony kůry nadledvin 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 výměnou za draslík apikálními iontovými kanály, retence sodíku 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 eosinofilů, vyčerpání je pak provázeno 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 hyperglykémie. U výkonů střední intenzity dochází postupně k hypoglykémii, charakterizovanou pocitem hladu, svalovou slabostí, poruchami vidění, provázené zmenšením výkonu. Vrácení k původním hodnotám glykémie je poměrně rychlé, výchozí hodnoty jsou většinou dosaženy za 0,5 až 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 poklesu výkonnosti organismu, s eventuelní až zástavou systému. Návrat zvýšené hladiny krevního laktátu k výchozím hodnotám se většinou pohybuje okolo 0,5 až 2 hodiny (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, zejména 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, čehož je příčina zvýšená tvorba kyseliny mléčné,  $pCO_2$  je zvýšen, alkalická rezerva (část pufrů – bikarbonáty, a fosfáty) je při anaerobních výkonech snížena, BE (rozdíl nárazníkových bazí, nezbytných pro neutralizaci acidózy) je po zatížení, zvláště krátkodobém, vyjadřován v negativních hodnotách (Bartůňková, 2010).

#### *2.1.1.5 Adaptační prostředí na zatěžování*

Objem krve je u trénovaných 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 přerušování 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. V plazmě tuky 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.* 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 kyselý, 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).

#### 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 každý nádech či výdech (500 ml u žen a 600 ml u mužů),
- *inspirační dechový objem*: objem vzduchu, který je dovdechnut po běžném nádechu (1900 ml u žen, 3000 ml u mužů),
- *expirační dechový objem*: objem vzduchu dovydechnutého 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, 6000ml u mužů),
- *usilovná vitální kapacita*: maximální objem vydechnutého vzduchu po maximálním nádechu (3200 ml u žen, 4800 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 dechového objemu (1800 ml u žen, 2400 ml u mužů),

- *jednotvářinová vitální kapacita*: maximální objem vzduchu vydechnutého za 1 sekundu po maximální nádechu. Často vyjadřováno vzhledem k usilovné 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 ml). 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 za minutu. Dechový objem se během zatížení zvyšuje až na 2 l což vede ke zvýšení minutové ventilace až na 100 l za minutu a více (McArdle, 2010). U hodně náročných aktivit se však kyslíkové nároky pokrývají spíše zvýšením dechové frekvence, než-li dechového objemu (Dempsey, 2006). Elitní vytrvalci dosahují hodnot okolo 160-180 l/minuta (McArdle, 2010; Dempsey, 2006). Minutová ventilace se zvyšuje lineárně společně s  $\dot{V}O_2$ . 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 snižují 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 ventilaci jako netrénovaní jedinci (Ratamess a kol., 2007). Rozdíly mezi pohlavími existují. Ženy mají u plic rozdílnou strukturu oproti stejně starým a stejně vysokým mužům, což se týká menší vitální kapacity a maximálních expiračních průtoků, menší průměr dýchacích cest a menší difúzní povrch (Harms, 2006). Ženy mají menší dýchací cesty a objem plic, nižší klidový maximální expirační průtok a mají vyšší metabolické nároky na dýchání oproti mužům (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, trvajících déle než 40-60 s, může dojít k projevům tzv. mrtvého bodu. Čím delší je trať a intenzita zátěže nižší, 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 kardio-respiračních 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 organismu 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 útlumu v mozkové kůře, a diskoordinaci funkcí. Ve srovnání se srdeční frekvencí jsou v dechové frekvenci při zátěži sledovány výraznější změny. Opodstatněním je vůlí vyšší ovlivnitelnost dechové frekvence. Dechová frekvence se při stupňované zátěži postupně zvyšuje, nicméně toto zvyšování je individuální a závisí na ekonomice dýchání. Při nízké intenzitě zátěži 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 dechů 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).

Hyperkapnie je zvýšení koncentrace oxidu uhličitého v krvi (Švíglerová, 2009). Jedná se respirační poruchu, jenž má za následek respirační acidózu, kterou dělíme na akutní a chronickou. Jedná se o nerovnováhu mezi produkcí a vylučováním CO<sub>2</sub> (Schneiderka, 2004).

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 standartním 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 standartním 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 jsou hodnoty pohybující se 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, jež jsme schopni provozovat několik hodin. Přestože se nazývá prahem jde spíše o pásmo, které poukazuje na přepnutí aktivaci z 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 vyjádření vzhledem k maximálním hodnotám vyšetřovaného jedince i v stupni subjektivního pocíťování zátěže (Heller, 2018).

### 2.1.3 Centrální soustava

#### 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 a svalů jazyka. Ze sekundárních oblastí kůry a šedé podkorové hmoty je extrapyramidovými drahami zprostředkovávána hybnost kořenová a osová. Bez činnosti motorického kortexu není možná volní hybnost, ale její zpřesnění je úkolem aferentní vzruchové aktivity zejména z proprioreceptorů a zpětnovazebných extrapyramidových systémů (Havličková, 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 výbavě

nemůže buňka hormon zaregistrovat a tím je znemožněna změna 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  $\alpha$ -buňkami Langerhansových ostrůvků lokalizovaných v pankreatu; podílí se na zvyšování jaterní glykogenolýzy a glukoneogeneze.
3. Kortizol – produkován kůrou nadledvin; u déle trvajících 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, ve které 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, kde podporuje rozklad lipidů a během zotavení reguluje proteosyntézu.
3. Inzulin – je hormon produkován  $\beta$ -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

### 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

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 hydrolyze 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 meziproductů citrátového cyklu
3. tvorba redukovaných ekvivalentů (NADH) a  $CO_2$  v citátovém cyklu
4. reoxidace NADH v dýchacím řetězci mitochondrií za tvorby ATP a  $H_2O$ .

Tab. č.: 1 - Energetická hodnota živin dle Holečka (2016)

	Fyzikální spalné teplo (kJ/g)	Fyziologické spalné teplo (kJ/g)
Sacharidy	17	17
Lipidy	39	39
Bílkoviny	23	17



U středního pracovní 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 s vzájemnou protiváhou inzulínu a glukagonu společně i s růstovým hormonem (Máček; Radvanský, 2011).

Jako první se spaluje svalový glykogen, který ke své fosforylaci nepotřebuje žádný ATP. Po určité době, okolo 30-40 minut, u netrénovaného dříve, se podstatně sníží zásoby glykogenu v pomalých, oxidačních 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 %  $VO_2 \text{ max}$  činí podíl tuků 30-40 %, při nižší intenzitě i delším trvání až 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 za kosti. Svaly samotné se mohou pouze zkracovat. Jednotlivé stahy jsou ovládány mozkem pomocí signálů, přenášených nervy. Nervové impulzy řeknou svalům jaká vlákna, kdy, jakou silou a na jak dlouho se smršťovat.

Nervový systém také koordinuje stahy většího počtu svalů, aby byl pohyb plynulý. (Sharkey; Gaskill, 2019)

Svalová vlákna jsou mnohojaderné útvary vyznačujících 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 jednodlné a dvojdlné 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 aktin 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. U relaxace svalů dochází k zániku můstků, reabsorpci vápníku pomocí  $\text{Ca}^{2+}$  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, je dle Havlíčkové (1999) poskytována čtyřmi typy reakčních procesů:

1. tvorbou ATP ze dvou molekul ADP
2. tvorbou ATP z CP
3. tvorbou ATP při anaerobní glykolýze glycidů za vzniku kyseliny mléčné
4. tvorbou ATP v aerobním cyklu kyseliny citrónové, kdy konečnými produkty jsou voda a  $\text{CO}_2$

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 (Havlíčková, 1999).

#### 2.1.4.3 Dělení svalové tkáně

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 morfoloogicky rozlišujeme 3 typy vláken:

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

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

#### 2.1.4.4 Využívání zdrojů energie ve svalu v závislosti na intenzitě, době trvání výkonu a typu zatížení

Dodávka energie, nutná k bezprostřednímu provedení svalové kontrakce prokrátkodobý 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 rozebíhá převážně v pomalých oxidativních vláknech, určených pro dlouhodobou aktivitu antigravitačního charakteru.

Energie nutná pro funkci kontraktilních elementů svalových vláken vzniká štěpením ATP (adenosintrifosfát), které se ztrátou jedné molekuly mění na di-monofosfát, 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 neekonomičtější formou co největší množství kyslíku (Máček; Radvanský, 2011).

Zdrojem energie pro oxidativní formu uvolňování energie jsou po uvolnění triacylglycerolu buď FFA z intramyocytárních i tělesných tukových zásob, které jsou v podstatě nevyčerpatelné, nebo krevní glukóza uvolněná ze zásob glykogenu v játrech. Zásoby glykogenu v játrech jsou relativně omezené, nicméně k jejich vyčerpání může dojít jen výjimečně, např. při hodiny trvající intenzivní zátěži (Máček; Radvanský, 2011).

#### *2.1.4.5 Bazální metabolismus, pracovní metabolismus*

*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 „termoneutralní 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 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 expresí genů pro UCP, 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 metabolismu 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 významný podíl má i zvýšená metabolická aktivita kardiovaskulárního, respiračního a nervového systému. Výrazně se zvyšuje metabolická aktivita jater, kde je aktivována glykogenolýza a glukoneogeneze. Svalová práce, u fyzicky velmi namáhavých sportovních výkonů, může zvýšit spotřebu až desetinásobně (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, 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 zátěže 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 i tuk 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, jenž 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 z části přesunuto z jater, jenž musí uvolnit glukózu v tempu, které odpovídá zvýšené spotřebě glukózy, aby udrželo rovnováhu (Wasserman, 2009). U vysoce intenzivních a/í dlouho trvajícím zatížení může být odchýlení od rovnováhy. Během vysoce intenzivním zatížení, stimul uvolnění glukózy z jater přesahuje zásoby glykogenu, čímž způsobuje zvýšení hladiny glukózy v krvi (Sigal a kol., 2004). V kontrastu u dlouho trvajících zatížení, hypoglykémie může vyústit k téměř totálnímu 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. Se začátkem zatížení toto skladiště energie je hydrolyzováno

aktivací fosforylace glykogenu, vyústující k vyplavení glukózy z jater (Wasserman, 1995).

I přes důležitou roli v energetické rovnováze a přidaných metabolických požadavků během zatížení, ne mnoho se ví o regulaci jater po zatížení (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, díky rovnováze mezi energetickými nároky pracujícího svalstva na straně jedné a odvodem katabolitů na straně druhé. Pro aerobní svalovou 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 glykogenolýzu i glukoneogeneze z laktátu, glycerolu a aminokyselin, aktivována 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 nekontraktilních proteinů přítomných ve svaly. Největší změnou v metabolismu aminokyselin při aerobní práci je aktivace katabolismu BCAA prováděná zvýšenou syntézou a uvolňováním alaninu a glutaminu ze svaly do krve. Alanin jako substrát při glukoneogenezi, zatímco využití glutaminu je komplexnější – transport amoniaku ze svalů do jater, tvorba alaninu ve střevě, glukoneogeneze a amoniogeneze v ledvinách (Janeček, 2016).

Adaptace svalových vláken na specifický typ zatěžování jsou i vyzrálé myocyty schopny takzvané svalové plasticity: mění se jejich fenotypický i metabolický profil, včetně stavby kontraktilních 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 nižší aktivitou myozinové ATP-ázy 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, srdce, se nemění pouze v závislosti na vlastním výkonu, ale změny tohoto ukazatele můžeme pozorovat už před výkonem a po výkonu (Havlíčková, 1999).

Samotné monitorování srdeční frekvence je výhodné z toho důvodu, že se spoléháte na kapacitu svého srdce a srdeční frekvence je Vám schopna ukázat, jak se na daný trénink adaptujete (Benson, Connolly, 2012).

### **2.2.1 Zjišťování srdeční frekvence**

Minutová srdeční frekvence bývá monitorována při zátěžových testech po celou dobu zatížení, zvláště u testu aerobních schopností, kdy jsme poté schopni se v tréninku řídit podle hodnot SF, po stanovení ventilačních prahů. Dále se měří maximální SF, ze které jsme schopni odpočítat jednotlivá pásma jako ukazatele intenzity v tréninku (Struhár, 2019). 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 je zjistit funkční schopnosti člověka, posoudit připravenost k sportovnímu výkonu, získání vodítek pro řízení intenzity tréninkové zátěže nebo pohybové léčby, odhalení skrytých 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, jako jsou chemické podmínky prostředí, přesnější intenzitu zátěže, dávkování, lepší kontrolu provedení, lepší možnosti sledování odezvy organismu, nicméně je zde nižší přenositelnost výsledků do praktického tréninku a soutěžních utkání a je zde lepší opakovatelnost, větší možnost srovnání výsledku v delším časovém

horizontu. Naopak u zátěžových testů máme nestabilní vnější podmínky jako je teplota, vítr, obecně počasí, variabilnější zátěž, dávkování, horší možnosti sledování odezvy organismu, větší přenositelnost do tréninkového zatížení a mistrovských utkání a soutěží, nicméně horší opakovatelnost a horší možnost srovnání výsledku v delším časovém horizontu (Struhár, 2019).

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 stupňována 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 standartním způsobu zatěžování monitoruje kardiopulmonální 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 jakožto test aerobních schopností – cílem testu je zjištění a posouzení aerobní schopnosti, zde sledujeme výkon na bicyklovém ergometru či rychlost na běžecím páse, dále respirační parametry, kterými jsou minutý příjem kyslíku a minutový výdej oxidu uhličitého, 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, nebo po skončení zátěže a proto je potřeba věnovat zvýšenou pozornost bezpečnostním opatřením (Struhár, 2019)

Step test – cílem testu je posouzení funkční zdatnosti oběhového systému jedince, sledujeme index zdatnosti společně se srdeční frekvencí. K testu je potřeba stupínek o dané výšce, měřič času či metronom, sporttester, metronom k určení frekvence výstupu na bednu a připravený protokol k zaznamenání dat (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 5ti 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 schopen 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, srdeční frekvenci. Potřebujeme stopky, sporttester, metronom k určení frekvence výstupu na bednu a připravený protokol k zaznamenání dat. Testovaná osoba musí 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, poté co testovaná osoba zůstala po dobu jedné minuty sedět, 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 je mnoho, s různými cíly. Pro potřeby této práce jsou výše zmíněné testy pouze ilustrační, jelikož cílem je měření návratu srdeční frekvence po zatížení po dosažení alespoň submaximální intenzity zatížení.

### **3 Postup literární rešerše**

Postup při rešerši literatury.

#### **3.1 Stanovení klíčových slov**

Klíčová slova byla stanovena pro vyhledávání v databázi Scopus.

#### **3.2 Základní vyhledávání v databázi Scopus**

Vyhledávání v databázi bylo uskutečněno zadáním klíčových slov „heart rate recovery“, „human“, „submaximal exercise“ a „maximal exercise“. Časový horizont byl stanoven na 8 let. Po zadání výše uvedených skutečností bylo databází Scopus vyhledáno 173 odborných článků, z nichž jsem vybral 33. Po podrobnějším zkoumání se výběr zúžil na 25 odborných článků, které byly vloženy do přehledové tabulky, ve které je zahrnutý vzorek testovaných, uskutečněný test, metodika měření a výsledky studie.

### 3.3 Vytvoření přehledové tabulky z vyhovujících studií

Níže je vytvořena přehledová tabulka z vybraných studií.

Tab. č.: 2 – Přehledová tabulka vyhovujících studií

Testování	Test	Měření	Výsledky
25 zdravých hasičů	Forestry step test 40 cm vysoká bedna, na kterou jedinec vystupuje v pravidelném rytmu 90/min. po dobu 5ti minut	Po konci testu si testovaný sedl na bednu a 3 minuty seděl. SF bylo měřeno ihned po dokončení, poté 15,30,45,60,120 a 180 s po dokončení testu	Data byla naměřena na začátku 15-ti týdenního programu, v šestém týdnu programu a na konci programu.
Časy (s)	1. Týden	6. Týden	15. týden
% SF max 0	83.2 (7.2)	70.8 (5.2)	71.1 (4.6)
% SF max 15	78.0 (6.6)	65.2 (5.2)	66.4 (5.5)
% SF max 30	72.0 (7.8)	58.1 (4.9)	58.9 (6.1)
% SF max 45	66.7 (7.5)	52.3 (5.6)	52.9 (5.6)
% SF max 60	63.6 (7.3)	48.2 (6.0)	48.8 (6.3)
% SF max 120	55.5 (6.3)	41.9 (7.0)	42.7 (6.1)
% SF max 180	52.4 (5.7)	39.8 (6.1)	41.2 (5.5)
			(Cornell, 2021)

Testování	Test	Měření	Výsledky
30 zdravých mužů	Submaximální test na běhátku, testování 5 minut šli 6 km/h a 1 % náklon na zahřátí a poté běželi na 60 % své maximální rychlosti, která byla zjištěna v předchozím testu. Náklon zůstal po celou dobu 1 %.	Hodnoty SF byly měřeny v 1, 3, 5, 7, 10, 20, 30, 40, 50, 60 minutě. Průměrná SF max činil 199,0+-8,7.	Tepy/minutu 1.minuta 130 3.minuta 118 5.minuta 105 7.minuta 98 10.minuta 95 20.minuta 90 30.minuta 88 40.minuta 86 50.minuta 84 60.minuta 82 (de Oliveira a kol., 2020)
10 elitních hráčů badmintonu, data pro naše potřeby pouze 4.	5-ti minutový, submaximální shuttle run (12,8 m)	SF byla měřena po jedné minutě, bohužel pro mluvení a vnější vlivy, byla některá data zkreslena, a proto uvádím pouze valdní data.	SF (tepy/minuta) hned po zatížení po minutě: 171-122,8 157-88,6 171-131 182-149,6 (Schneider a kol.,2020)

Testovaní	Test	Měření	Výsledky
124 studentů medicíny, 46,8 % muži, 53,2 % ženy	Submaximální test na šlapacím ergometru, test se skládal z 6 ti minutového zatížení, power output byl 75125W pro ženy a 100-150W pro muže. Frekvence šlapání byla nařízena okolo 50 za minutu. Kritérium vyčerpání/konce testu bylo stanoveno na 185 tepů za minutu.	SF byla měřena po dobu 3 minut, po ukončení testu. Po tuto dobu seděl testovaný na kole.	SF 0 minut 153 (19) 1 minuta 125 (22) 2 minuta 110 (21) 3 minuta 105 (20) Kromě SF bylo měřeno i VO <sub>2</sub> max, mezi těmito parametry byla vysoká korelace. Zároveň, kdo měl vyšší VO <sub>2</sub> max, měl i rychlejší návrat SF k původním hodnotám. (Fan a kol.,2020)
31 elitních hráčů rugby	Yo-Yo Intermittent Recovery test 1 upravený pro rugby	SF byla měřena po celou dobu Yo-Yo IR1, 60 s po skončení testu byli testovaní změřeni.	SF 0 s–95 % (5) SF max 60 s–75 % (6) SF max (Dobbin a kol., 2020)

Testování	Test	Měření	Výsledky
3667 pacientů s průměrným věkem 55,7 (13,1) let, 61 % muži	Šlapací ergometr, začátek práce 20-30 W, každou minutu se odpor zvýšil o 10-30 W podle pacienta. Snaha o dosažení maximální SF.	Po ukončení testu testování 4 minuty seděli na ergometru a pomalu šlapali, první minutu po ukončení testu proti 10 W odporu. SF byla měřena minutu po ukončení testu.	SF max – 147 (27) tepy/minuta HRR (Heart rate recovery) – pokles o 24,8 (11,6) tepy/minuta (Hernesniemi a kol., 2020)
66 zdravých dospělých (33 mužů a 33 žen), průměrný věk 30,8 (9,3) let.	Step test testování 24 krát za minutu vystoupili na bednu a zpět po dobu 3 minut. Po celou dobu měřena SF.	Po ukončení testu si testování sedli na židli a byla jim, po dobu jedné minuty, měřena SF.	SF – tepy/minuta 0 s – 116,7 (15,0) 30 s – 94,1 (15,1) 60 s – 81,1 (13,9) (Hong a kol., 2019)
13 zdravých mužů, 26,4 (4,7) průměrný věk	Maximální stupňující se test na šlapacím ergometru, počáteční odpor byl 50 W, každé 3 minuty se přidávalo 30 W do úplného vyčerpání.	Hodnoty SF byly měřeny 0, 30 sekund a 1, 3, 5 a 10 minut po ukončení testu.	0 s – 180 tepů/minuta 30 s – 165 tepů/minuta 1 minuta – 145 tepů/minuta 3 minuty – 120 tepů/minuta 5 minut – 115 tepů/minuta 10 minut – 110 tepů/minuta (Michael a kol., 2018)



Testování	Test	Měření	Výsledky
12 elitních fotbalistů, s věkem 20,4 až 31,1 let	Střídavý běh se změnou směru ve vzdálenosti 100 m po dobu 4 minuty s průměrnou rychlostí 12 km/h	Hodnoty byly naměřeny ihned po ukončení a 60 s poté. Po ukončení testu testovaní nečinně stáli, aby byl zajištěn klidový průběh.	0 s-155,2 (9,3) tepů/minuta 60 s-132,2 (11,9) tepů/minuta (Rabbani a kol., 2018)
1383 zdravých mužů a 1761 zdravých žen o věku 46 let.	4minutový submaximální step test, ženy bedna 33 cm, muži 40 cm, 23 výstupů za minutu v rytmu metronomu.	Po skončení testu byli testovaní usazeni. Hodnota SF byla měřena 0 a 60 s po ukončení testu.	Muži 0 s-145 (15) tepů/minuta 60 s-106 (11) tepů/minuta Ženy 0 s-149 (15) tepů/minuta 60 s-105 (11) tepů/minuta (Kiviniemi a kol., 2017)

Testování	Test	Měření	Výsledky
56 obézních dětí ve věkovém rozmezí 7-17 let.	Submaximální test na šlapacím ergometru se stupňovanou zátěží po dvou minutách. Test byl ukončen po dosažení 180 tepů/minuta, nebo pro vyčerpání, postavení se na pedály, výraznými známkami únavy, nebo požadavkem o ukončení.	Hodnoty SF byly měřeny 0 a 60 s po ukončení testu. Po ukončení testu testovaní zůstali sedět na kole, v rámci regenerace se „vyšlapávali“ na 25 nebo 50 W v závislosti na výšce a hmotnosti.	SF 0 s-180 tepů/minuta 60 s-158,8 (4,6)  (Bjelakovic a kol., 2017)

Testování	Test	Měření	Výsledky
2krát 25 zdravých mužů, jedni rekreační Tanečníci, druzí lehce aktivní zdraví muži (kontrolní skupina).	Submaximální, postupně se zvyšující test na běhátku. 2 minuty chůze o rychlosti 3 km a náklonu 2,5 % bylo použito jako seznámení s běhátkem a rozcvičení. Poté se zvyšovalo každou minutu o 1 km/h, dokud testovaný nedosáhl 85 % SF max.	Po skončení testu měli testovaní 5 minut chůze o rychlosti 2,4 km/h s 2,4 % náklonem. Hodnoty SF byly měřeny 0,1,2,3,4 a 5 minut po ukončení testu.	Rekreační tanečníci. (Tepů/minuta) 0-165 (160;169) 1-125 (121;133) 2-112 (107;115) 3-107 (100;111) 4-106 (99;108) 5-102 (97;106) Kontrolní skupina 0-165 (161;169) 1-133 (126;137) 2-120 (111;122) 3-114 (109;120) 4-109 (105;117) 5-106 (100;115) (Cruz a kol., 2017)

Testování	Test	Měření	Výsledky
8 elitních plavkyň a 5 elitních plavců s průměrným věkem 19,15 let.	Plavecký stupňovaný test 10x 100 m kraulem, s cílovou SF 80-85 % SF max.	Hodnoty SF byly měřeny minutu po uplavaném úseku.	<p>Pokles SF (tepů/minuta)</p> <p>Úseky:</p> <p>1.-46,34 (3,11)</p> <p>2.-35,62 (2,78)</p> <p>3.-39,99 (7,55)</p> <p>4.-41,97 (1,49)</p> <p>5.-33,04 (2,89)</p> <p>6.-28,75 (1,13)</p> <p>7.-36,51 (5,41)</p> <p>8.-34,12 (1,01)</p> <p>9.-48,63 (1,96)</p> <p>10.-57,42 (1,49)</p> <p>(Ganzevles a kol.,2014)</p>
49 rekreačních sportovců, 18 mužů a 31 žen, ve věku 18-60 let, s průměrným věkem 23,2 (21,8) let.	Step test na 41,3 vysokou bednu v rytmu metronomu 96 bpm, 88 bpm pro ženy.	Po skončení testu byli testování usazeni. Hodnoty SF byly měřeny 0 s po ukončení a 1 minutu po.	<p>Ženy (tepů/minuta)</p> <p>0 s-160,1 (17,2)</p> <p>1 minuta-90,9 (12,4)</p> <p>Muži (tepů/minuta)</p> <p>0 s-148,1 (11,4)</p> <p>1 minuta-85,3 (12,9)</p> <p>(Bunn a kol.,2017)</p>

Testovaní	Test	Měření	Výsledky
45 elitních australských fotbalistů, s průměrným věkem 23 (4)	Yo-Yo Intermittent Recovery 2 Test	Po ukončení testu se měřil pokles hodnot SF po 1,2 a 3 minutách.	Pokles SF (tepů/minutu) 1.-22,7 (7) 2.-38,3 (6,8) 3.-43,6 (5,8) (Veugelers a kol., 2016)
12 dívek mezi 9 a 11 lety věku, zdravých a pohybově aktivních	Test vita maxima na šlapacím ergometru. Začátek zátěže 20 W po dobu 2 minut, poté 10 W zvýšení každou minutu. Test byl ukončen, pokud bylo dosaženo subjektivní maximum, nebo testované nebyly schopny udržet šlapání na frekvenci 50 za minutu.	Během 30 s po ukončení testu si testované lehly na záda, nemluvily a byly v klidu. Hodnoty SF byly měřeny po celou dobu testu a poté 1 minutu po ukončení testu.	Maximální dosažená SF: 193 (9) tepů/minuta  Pokles po jedné minutě: 28,2 (4,2) % (Guilkey a kol., 2015)
10 elitních běžců na lyžích, průměrný věk 28,2 (5,4) let	Speciálně upravený pás pro brusle, které napodobují běžecké lyže, a kde je možné použití hůlek.  Test na 6 km, v co nejrychlejším tempu. Byl upravován sklon a rychlost podle schopností běžce. Po ukončení testu si testovaný sedl na židli a v klidu seděl.	Hodnoty SF byly měřeny ihned po skončení testu a 60 s po.	0 s-179 (7) tepů/minutu Pokles SF za 60 s: 32,6 (11,7) (Mourot a kol., 2015)

Testování	Test	Měření	Výsledky
60 zdravých mužů, 30 aktivně provozující vytrvalostní sporty (APVS), s věkem mezi 40 a 61 lety, 30 jakožto kontrolní skupina (KS) nesportujících ve věku 39 až 62 let.	Stupňující se submaximální test na šlapacím ergometru do 85 % SF max. Začátek zátěže 40 W, každé 3 minuty zvýšení o 50 W dokud testovaný nedosáhl 85 % SF max.	Hodnoty SF byly měřeny 0 s, 30 s, 1 a 2 minuty po ukončení testu.	APVS (tepů/minutu) 0 s-150 (5) 30 s-119 (9) 1 minuta-98 (10) 2 minuty-83 (10) KS (tepů/minutu) 0 s-148 (4) 30 s-127 (8) 1 minuta-115 (9) 2 minuty-105 (9) (Danieli a kol., 2014)
14 zdravých chlapců v rozmezí 9 a 11 let a 13 zdravých mužů v rozmezí 20 a 26 let.	Test vita maxima na šlapacím ergometru pro chlapce začal na 20 W po dobu 2 minut, poté se každou minutu o 10 W dokud nebylo dosaženo maxima. U dospělých začal test na 60-100 W podle očekávané maximální práce a zvyšovalo se každou minutu o 20 W dokud se nedosáhlo maximálního úsilí. Frekvence šlapání byla nastavena na 60-80 otáček za minutu.	Hodnoty srdeční frekvence byly měřeny 0 a 60 s po skončení testu. Ihned po skončení testu si testovaný lehl.	Chlapci SF max-191 (8) Pokles po 60 s- 30 % (5 %) Muži SF max-190 (7) Pokles po 60 s- 24,8 % (5,9 %) (Guilkey a kol., 2014)

Testovaní	Test	Měření	Výsledky
20 studentů a akademických učitelů, 10 mužů, 10 žen	6 minut šlapání na šlapacím ergometru na úrovni 65 % SF max, následovaným šlapáním na 80 % SF max a 3 minutovým odpočinkem v sedu na kole. Testovaný seděl v klidu a nehovořil s personálem.	Hodnoty SF byly měřeny 60, 120 a 180 s po ukončení testu.	Pokles SF: 60 s-27,59 (7,13) 120 s-39,68 (5,01) 180 s-42,71 (5,6) (Romagnoli a kol., 2018)
40 rekreačně sportujících vytrvalostních běžců (20 žen, 20 mužů) ve věku mezi 22-50 let	Submaximální test na běhátku, prvních 6 minut tempo odpovídající 70 % SF max, dalších 6 minut odpovídající 80 % SF max a 3 minut v tempu odpovídající 90 % SF max. Testovaný po ukončení testu 2 minuty stál, nemluvil.	SF hodnoty byly měřeny 0 a 60 s po ukončení testu.	Hodnoty SF (tepů/minuta) 0 s-168 (9) 60 s-126 (10) (Vesterinen a kol., 2017)
8 mužů a 2 ženy, ultravytrvalci	20-ti minutový submaximální test na běhátku na úrovni 70 % VO <sub>2</sub> max. Po skončení testu testovaný bez mluvení stál.	Hodnoty SF byly měřeny 0 a 60 s po ukončení testu.	SF (tepů/minuta): 0 s-152 (11) 60 s-123 (4) (Mann a kol., 2015)

Testování	Test	Měření	Výsledky
8 vysoce trénovaných hráčů rugby, s průměrným věkem 28,1 (1,5) let.	30-15 intermittent test, začátek v rychlosti 8 km/h, každým úsekem se zvyšoval o 0,5 km/h na vzdálenost 40 m za 30 s s 15 s pauzou mezi úseky.	Hodnoty SF byly měřeny 120 s po ukončení testu.	SF (tepů/minutu) 0 s po ukončení testu: 192,8 (4,8) SF (tepů/minutu) 120 s po ukončení testu: 116,8 (5,9) (Natera a kol., 2019)
37 aktivních hasičů s průměrným věkem 39 (9) let.	Submaximální step test po dobu 3 minut na bednu vysokou 40,3 cm za kadence 96 kroků za minutu. Test v ita maxima na běhátku, začínající na 4,83 km/h s 0 % náklonem, po jedné minutě zvýšení rychlosti na 7,425 km/h. Další zrychlování se střídalo se zvýšením náklonu o 2 %, nebo zrychlení o 0,8 km/h. Po ukončení obou testů byl testovaný na 10 minut posazen, testy od sebe měly minimálně 24 hodin, ale ne více než 96 hodin.	Hodnoty SF byly měřeny každých 30 s ihned po ukončení testu.	Hodnoty % SF max (Submax.-max.) 0 s-77-100 30 s-65-92 60 s-55-80 90 s-48-72 120 s-46-67 150 s-45-62 180 s-44-60 210 s-44-60 240 s-45-58 270 s-44-57 300 s-43-56 (Ebersole a kol., 2020)



Testování	Test	Měření	Výsledky
60 zdravých mužů mezi 18 a 45 lety.	Kardiopulmonární submaximální test na běhátku na úrovni 90-95 % SF max. Po dosažení těchto hodnot bylo zpomaleno na 3 km/h s náklonem 2,5 %. Po ukončení byl testovaný usazen.	Hodnoty SF byly měřeny 1, 3, 6, 16, 26 a 36 minut po ukončení testu.	SF (tepů/minutu) SF max-181 (12) 1 minuta-163 (14) 3 minuty-141 (16) 6 minut-128 (15) 16 minut-91 (12) 26 minut-89 (12) 36 minut-83 (10) (Facioli a kol., 2021)

### 3.4 Porovnání výsledků

22 z 25 studií obsahovalo jakožto testované dospělé, zbylé 3 měli jako testovaný vzorek dětí. 12 z 25 studií obsahovaly submaximální test tělesné zdatnosti, tzn. testování nedosáhli své maximální srdeční frekvence. Zbylé testy byly *vita maxima*, čili testování se snažili dosáhnout své maximální srdeční frekvence. V 5 studiích byl využit step test, v 5 studiích bylo použito běhátko, v 1 studii speciálně upravený pás pro brusle, umožňující odraz hůlkami, v 1 studii byl plavecký test, v 8 studiích byl použit šlapací ergometr, v 5 studiích byl použit intermitentní běhací test. Návrat srdeční frekvence směrem ke klidovým hodnotám byl pozorován u všech studií. U rekreačních a elitních sportovců byly pozorovány nižší dosažené hodnoty u submaximálních testů a rychlejší pokles srdeční frekvence. Dále lze pozorovat rychlejší návrat srdeční frekvence u mladších jedinců.

### **3.5 Vyvození závěrů**

Návrat srdeční frekvence se s přibývajícím věkem může zpomalovat, nicméně to může souviset i faktem, že s přibývajícím věkem se nám postupně snižuje maximální srdeční frekvence. Větší rozdíl návratu srdeční frekvence ke klidovým hodnotám, lze pozorovat mezi netrénovanou populací a rekreačními sportovci, než mezi rekreačními a elitními sportovci.

## 4 Závěr

Cílem této práce, byla literární rešerše o návratu srdeční frekvence k výchozím hodnotám. Většina studií se zabývala návratem pouze v řádu minut, a i proto nedošlo k úplnému návratu srdeční frekvence. Návrat srdeční frekvence se nicméně potvrdil jakožto ukazatel oběhové zdatnosti u rekreačních sportovců oproti netrénované populaci. Menší rozdíl byl mezi elitními a rekreačními sportovci, kde již pravidelný trénink nemá tak výrazný vliv na návrat srdeční frekvence po zatížení.

Srdeční frekvence jakožto ukazatel aktuální stav zdatnosti jedince je a velmi pravděpodobně bude využíván jak mezi elitními, tak i rekreačními sportovci, pro jeho jednoduchost a okamžitou odezvu. Jedná se o neinvazivní způsob zjištění aktuálního stavu našeho organismu, je to bezbolestné a jednoduché. Návrat samotné srdeční frekvence k výchozím hodnotám je použitelný u intervalového tréninku, kde jsme schopni zjistit připravenost organismu na další úsek. Nicméně samotný návrat srdeční frekvence k výchozím hodnotám zatím nelze použít k predikci výkonnosti, či jiných směrodatných ukazatelů směřujícím k výkonu.

## 5 Zdroje<sup>1</sup>

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.

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

BJELAKOVIC, L., VUKOVIC, V., JOVIC, M., BANKOVIC, S., KOSTIC, T., RADOVANOVIC, D., PANTELIC, S., ZIVKOVIC, M., STOJANOVIC, S., a B. BJELAKOVIC. Heart rate recovery time in metabolically healthy and metabolically unhealthy obese children. *The Physician and sportsmedicine* [online]. 2017, 45(4), 438-442 [cit. 20. 5. 2021]. DOI: 10.1080/00913847.2017.1376571

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

BROOKS, G. A., a MERCIER, J.. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the "crossover" concept. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md. : 1985) [online]. 1994, 76(6), 2253–2261 [cit. 21.5.2021]. DOI: 10.1152/jappl.1994.76.6.2253

BUNN, J., MANOR, J., WELLS, E., CATANZARITO, B., KINCER, B., a ESCHABCH L. C. Physiological and emotional influence on heart rate recovery after submaximal exercise. *Journal of Human Sport and Exercise* [online]. 2017, 12(2), 349–357 [cit. 21.5.2021]. DOI: 10.14198/jhse.2017.122.11

CORNELL, D. J., NOEL, S. E., ZHANG, X., a EBERSOLE, K. T. Influence of a training academy on the parasympathetic nervous system reactivation of firefighter recruits—an observational cohort study. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online]. 2021, 18(1), 1–10 [cit. 21.5.2021]. DOI: 10.3390/ijerph18010109

COFFEY V. G, HAWLEY J. A. The molecular bases of training adaptation. *Sports Med*[online]. 2007, 37(9):737-63 [cit. 15.3.2021]. DOI: 10.2165/00007256-20073709000001.

---

<sup>1</sup> Zdroje citovány dle citační normy ČSN ISO 690:2011

- CRUZ, C., MOLINA, G. E., PORTO, L., & JUNQUEIRA, L. F., Jr. Resting Bradycardia, Enhanced Postexercise Heart Rate Recovery and Cardiorespiratory Fitness in Recreational Ballroom Dancers. *Research quarterly for exercise and sport* [online]. 2017, 88(3), 371–376 [cit. 19.5.2021]. DOI: 10.1080/02701367.2017.1318202
- DANIELI, A., LUSA, L., POTOČNIK, N., MEGLIČ, B., GRAD, A., a BAJROVIĆ, F. F. (2014). Resting heart rate variability and heart rate recovery after submaximal exercise. *Clinical Autonomic Research* [online]. 2014, 24(2), 53–61 [cit. 21.5.2021]. DOI: 10.1007/s10286-014-0225-2
- DOBBIN, N., HIGHTON, J., MOSS, S. L., a TWIST, C. The effects of in-season, lowvolume sprint interval training with and without sport-specific actions on the physical characteristics of elite academy rugby league players. *International Journal of Sports Physiology and Performance* [online]. 2020, 15(5), 705–713 [cit. 15.5.2021]. DOI: 10.1123/ijsp.2019-0165
- DOVALIL, J. a M. CHOUTKA. *Výkon a trénink ve sportu*. 4. vyd. Praha [i.e. Velké Přílepy]: Olympia, 2012. ISBN 978-80-7376-326-8.
- DEMPSEY JA, MILLER JD, ROMER LM. The respiratory system. In: Tipton CM, editor. *ACSM's Advanced Exercise Physiology* [online]. Philadelphia (PA): Lippincott Williams & Wilkins; 2006. pp. [cit. 19.5.2021]. DOI: 10.1007/978-1-4614-7543-9.
- DE OLIVEIRA, L. S., FONTES, A. M. G. G., VITOR, A. L. R., VANDERLEI, F. M., GARNER, D. M., a VALENTI, V. E. Lower Systolic Blood Pressure in Normotensive Subjects is Related to Better Autonomic Recovery Following Exercise. *Scientific Reports* [online]. 2020, 10(1) [cit. 18.5.2021]. DOI: 10.1038/s41598-020-58031-5.
- EBERSOLE, K. T., CORNELL, D. J., FLEES, R. J., SHEMELYA, C. M., a NOEL, S. E. Contribution of the autonomic nervous system to recovery in firefighters. *Journal of Athletic Training* [online]. 2020, 55(9), 1001–1008 [cit. 17.5.2021]. DOI: 10.4085/10626050-0426.19
- FACIOLI, T. P., PHILBOIS, S. V., GASTALDI, A. C., ALMEIDA, D. S., MAIDA, K. D., RODRIGUES, J. A. L., ... SOUZA, H. C. D. Study of heart rate recovery and cardiovascular autonomic modulation in healthy participants after submaximal exercise. *Scientific Reports* [online]. 2021, 11(1) [cit. 18.5.2021]. DOI: 10.1038/s41598-021-83071-w

FAN, L. M., FAN, L. M., COLLINS, A., GENG, L., GENG, L., LI, J. M., a LI, J. M. Impact of unhealthy lifestyle on cardiorespiratory fitness and heart rate recovery of medical science students. *BMC Public Health* [online]. 2020, 20(1) [cit. 19.5.2020]. DOI: 10.1186/s12889-020-09154-x.

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. 20.5.2021] DOI: 10.1056/NEJM198204153061503.

GALASSETTI P, COKER RH, LACY DB, CHERRINGTON AD, WASSERMAN DH. Prior exercise increases net hepatic glucose uptake during a glucose load. *Am J Physiol* [online]. 1999, 276(6): E1022-9. [cit. 20.5.2021] DOI: 10.1152/ajpendo.1999.276.6.E1022.

GALERTO VÁ, Alena. *Stanovení energetického výdeje po dokončení cvičení silového a vytrvalostního charakteru*. Praha, 2014. Bakalářská práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta.

GANZEVLES, S. a HAAN, A. a BEEK, P. a DAANEN, H. a TRUIJENS, M. Heart Rate Recovery After Warm-Up in Swimming: A Useful Predictor of Training Heart Rate Response? *International Journal of Sports Physiology and Performance* [online]. 2016, 12. 1-21. [cit. 19.5.2021] DOI: 10.1123/ijsp.2016-0144.

GUILKEY, J. P., OVERSTREET, M., FERNHALL, B., a MAHON, A. D. Heart rate response and parasympathetic modulation during recovery from exercise in boys and men. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism* [online]. 2014, 39(8), 969–975 [cit. 20.5.2021]. DOI: 10.1139/apnm-2013-0510

GUILKEY, J. P., OVERSTREET, M., a MAHON, A. D. Heart rate recovery and parasympathetic modulation in boys and girls following maximal and submaximal exercise. *European Journal of Applied Physiology* [online]. 2015, 115(10), 2125–2133 [cit. 19.5.2021]. DOI: 10.1007/s00421-015-3192-y

HARMS CA. Does gender affect pulmonary function and exercise capacity? *Respir Physiol Neurobiol* [online]. 2006, 151:124–131. [cit. 18.5.2021] DOI: 10.1016/j.resp.2005.10.010.

- HAVLÍČKOVÁ, L. *Fyziologie tělesné zátěže I: obecná část*. 2. přeprac. vyd. Praha: Karolinum, 1999. ISBN 80-7184-875-1.
- HELLER, J. *Zátěžová funkční diagnostika ve sportu: východiska, aplikace a interpretace*. Praha: Univerzita Karlova, Karolinum, 2018. ISBN 978-80-246-3359-6.
- HERNESNIEMI, J. A., SIPILA, K., TIKKAKOSKI, A., TYNKKYNNEN, J. T., MISHRA, P. P., LYYTIKAINEN, L. P., ... KAHONEN, M. Cardiorespiratory fitness and heart rate recovery predict sudden cardiac death independent of ejection fraction. *Heart* [online]. 2020, 106(6), 434–440 [cit. 20.5.2021]. DOI: 10.1136/heartjnl-2019-315198
- HOLEČEK, M. *Regulace metabolismu základních živin u člověka*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, nakladatelství Karolinum, 2016. ISBN 978-80-246-2976-6.
- HONG, S. H., YANG, H. I., KIM, D. I., GONZALES, T. I., BRAGE, S., a JEON, J. Y. Validation of submaximal step tests and the 6-min walk test for predicting maximal oxygen consumption in young and healthy participants. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online]. 2019, 16(23) [cit. 15.5.2021]. DOI: 10.3390/ijerph16234858.
- KIVINIEMI, A. M., PERKIOMAKI, N., AUVINEN, J., NIEMELA, M., TAMMELIN, T., PUUKKA, K., ... KORPELAINEN, R. Fitness, Fatness, Physical Activity, and Autonomic Function in Midlife. *Medicine and Science in Sports and Exercise* [online]. 2017, 49(12), 2459–2468 [cit. 20.5.2021]. DOI: 10.1249/MSS.0000000000001387
- KITTNAR, O. *Přehled lékařské fyziologie*. Praha: Grada Publishing, 2021. ISBN 97880-271-1025-4.
- LEHNERT, M., NOVOSAD J, a F. NEULS. *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.
- MÁČEK, M. a RADVANSKÝ J. *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Praha: Galén, 2011. ISBN 978-80-7262-695-3.

- MANN, T. N., PLATT, C. E., LAMBERTS, R. P., a LAMBERT, M. I. Faster Heart Rate Recovery with Increased RPE: Paradoxical Responses after an 87-km Ultramarathon. *Journal of Strength and Conditioning Research* [online]. 2015, 29(12), 3343–3352 [cit. 17.5.2021]. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001004
- MCARDLE, WILLIAM D, FRANK I. K, a 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 kosterniho svalů*. Praha: Karolinum, 1990. ISBN 80-7066-2549.
- MICHAEL, S., JAY, O., GRAHAM, K. S., a DAVIS, G. M. (2018). Influence of exercise modality on cardiac parasympathetic and sympathetic indices during post-exercise recovery. *Journal of Science and Medicine in Sport* [online], 2018, 21(10), 1079–1084 [cit. 20.5.2021]. DOI: 10.1016/j.jsams.2018.01.015
- MOUROT, L., FABRE, N., ANDERSSON, E., WILLIS, S., BUCHHEIT, M., a HOLMBERG, H. C. Cross-country skiing and postexercise heart-rate recovery. *International Journal of Sports Physiology and Performance* [online]. 2015, 10(1), 11–16 [cit. 17.5.2021]. DOI: 10.1123/ijsp.2013-0445
- NATERA, A., JENNINGS, J., OAKLEY, A. J., a JONES, T. W. Influence of Environmental Conditions on Performance and Heart Rate Responses to the 30-15 Incremental Fitness Test in Rugby Union Athletes. *Journal of strength and conditioning research* [online]. 2019, 33(2), 486–491 [cit. 18.5.2021]. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001865
- 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. 14.4.2021] DOI: 10.1007/BFb0036123
- RABBANI, A., KARGARFARD, M., a TWIST, C. Reliability and Validity of a Submaximal Warm-up Test for Monitoring Training Status in Professional Soccer Players. *Journal of strength and conditioning research* [online]. 2018, 32(2), 326–333 [cit. 18.5.2021]. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002335.



RATAMESS NA, FALVO MJ, MANGINE GT, HOFFMAN JR, FAIGENBAUM AD, K. J. The effect of rest interval length on metabolic responses to the bench press exercise. *Eur J Appl Physiol* [online]. 2007, 100:1–17. [cit. 17.5.2021]. DOI: 10.1007/s00421-007-0394-y

ROMAGNOLI, M., ALIS, R., SANCHIS-GOMAR, F., LIPPI, G., a ARDUINI, A. *An Eighteen-Minute Submaximal Exercise Test to Assess Cardiac Fitness in Response to Aerobic Training*. *Journal of strength and conditioning research* [online]. 2018, 32(10), 2846–2852 [cit. 16.5.2021]. DOI: 10.1519/JSC.0000000000000685

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

SHEEL AW, GUENETTE JA. Mechanics of breathing during exercise in men and women: sex versus body size differences? *Exerc Sport Sci Rev* [online]. 2008, 36:128–134. [cit. 15.5.2021] DOI: 10.1097/JES.0b013e31817be7f0.

SIGAL RJ, KENNY GP, WASSERMAN DH, CASTANEDA-SCEPPA C. Physical activity/exercise and type 2 diabetes. *Diabetes Care* [online]. 2004, 27(10):2518-39. [cit. 20.5.2021] DOI: 10.2337/diacare.27.10.2518.

SCHNEIDER, C., WIEWELHOVE, T., McLAREN, S. J., Röleke, L., Käsbauer, H., HECKSTEDEN, A., ... FERRAUTI, A. Monitoring training and recovery responses with heart rate measures during standardized warm-up in elite badminton players. *PLoS ONE* [online]. 2020, 15 (12 December) [cit. 20.5.2021]. DOI: 10.1371/journal.pone.024441

SHETLER K, MARCUS R, FROELICHER VF, VORA S, KALISSETTI D, PRAKASH M, Do D, MYERS J. Heart rate recovery: validation and methodologic issues. *J Am Coll Cardiol* [online]. 2001, 38(7):1980-7. [cit. 19.5.2021] DOI: 10.1016/s07351097(01)01652-7.

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

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>.

VESTERINEN, V., NUMMELA, A., LAINE, T., HYNYNEN, E., MIKKOLA, J., a HAKKINEN, K. A Submaximal Running Test With Postexercise Cardiac Autonomic and Neuromuscular Function in Monitoring Endurance Training Adaptation. *Journal of strength and conditioning research* [online]. 2017, 31(1), 233–243 [cit. 19.5.2021]. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001458

VEUGELERS, K. R., NAUGHTON, G. A., DUNCAN, C. S., BURGESS, D. J., a GRAHAM, S. R. Validity and reliability of a submaximal intermittent running test in elite Australian football players. *Journal of Strength and Conditioning Research* [online]. 2016, 30(12), 3347–3353 [cit. 19.5.2021]. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001441

WASSERMAN DH. Four grams of glucose. *Am J Physiol Endocrinol Metab* [online]. 2009, Jan;296(1): E11-21 [cit. 6.4.2021]. DOI: 10.1152/ajpendo.90563.2008. Epub 2008 Oct 7.

WASSERMAN DH. Regulation of glucose fluxes during exercise in the postabsorptive state. *Annu Rev Physiol* [online]. 1995, 57:191-218. [cit. 14.4.2021] DOI: 10.1146/annurev.ph.57.030195.001203.

WILMORE JH, COSTILL DL. *Physiology of Sport and Exercise*. 2nd ed. Champaign (IL): Human Kinetics; 1999. ISBN 978-1492-5722-99

## **6 Přílohy**

Příloha č. 1 – Seznam tabulek

## **Příloha č. 1 – Seznam tabulek**

Tab. č.: 1 - Energetická hodnota živin dle Holečka (2016).....23

Tab. č.: 2 – Přehledová tabulka vyhovujících studií.....34