



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

SPIROMETRICKÉ MĚŘENÍ POMOCÍ SYSTÉMU POWERCUBE

POWERCUBE SPIROMETRY MEASUREMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MARTIN KRAJČOVIČ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. MUDr. ZDENĚK WILHELM, CSc.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Biomedicínská technika a bioinformatika

Student: Martin Krajčovič

ID: 133971

Ročník: 3

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Spirometrické měření pomocí systému PowerCube

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Seznamte se s problematikou spirometrického měření a uveďte základní diagnostické parametry. 2) Seznamte se s diagnostickým přístrojem PowerCube, kterým disponuje pracoviště vedoucího práce. Zaměřte se mimo jiné také na práci s naměřenými daty a možnostmi exportu dat. 3) Navrhněte protokol měření pro menší skupinu dobrovolníků a proměřte základní diagnostické parametry pomocí přístroje PowerCube před a po fyzické zátěži. 4) Měření na dobrovolnících proveďte pod dohledem vedoucího práce. 5) Navrhněte a realizujte program v prostředí Matlab, pomocí něhož naměřená data načtete, zpracujete a provedete potřebné analýzy. 6) Statisticky vyhodnoťte vliv zátěže na měřené parametry a dosažené výsledky diskutujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] HONZÍKOVÁ, N. Biologie člověka. Skriptum FEKT VUT v Brně, 2003.

[2] WEBSTER J. G. Encyclopedia Of Medical Devices And Instrumentation, John Wiley & Sons, Inc, 2006, ISBN: 978-0-471-26358-6.

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 31.5.2013

Vedoucí práce: doc. MUDr. Zdeněk Wilhelm, CSc.

Konzultanti bakalářské práce: doc. Ing. Jana Kolářová, Ph.D.

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Táto práca sa venuje problematike fyziológie dýchacieho systému, energetickej výmeny organizmu a kalorimetrii. Popisuje funkcie prístroja PowerCube-Ergo (Ganshorn Medizin Electronic, Nemecko) slúžiaceho k ergospirometrickému meraniu a navrhuje protokol slúžiaci pre meranie a hodnotenie kardiopulmonárnej odozvy organizmu a metabolickej aktivity organizmu u športovcov a nešportovcov. Taktiež predstavuje aplikáciu, vytvorenú v programovom prostredí MATLAB, umožňujúcu grafické zobrazenie a vyhodnotenie nameraných dát. Záverečná časť tejto práce je venovaná štatistickému vyhodnoteniu vybraných dát u súboru pacientov.

KLÍČOVÁ SLOVA

Dýchací systém, mechanika dýchania, nepriama kalorimetria, ergospirometria, PowerCube-Ergo, energetický výdaj, Wilcoxon rank-sum test, MATLAB, metabolizmus

ABSTRACT

This paper is dedicated to the issue of respiratory physiology, human body energy exchange and calorimetry. It describes functions of the PowerCube-Ergo-Device (Ganshorn Medizin Electronic, Germany), which serves ergospirometry measurement and designs a protocol used to measure and evaluate the cardiopulmonary response of the organism and the metabolic activity of the organism in a group of athletes and non-sportspeople. Furthermore, it constitutes an application developed in MATLAB programming environment, allowing graphical portrayal and evaluation of measured data. The final part of this thesis is devoted to statistical evaluation of the data gathered within the selected group of patients.

KEYWORDS

Respiratory system, respiratory mechanics, indirect calorimetry, ergospirometry, PowerCube-Ergo, energy expenditure, metabolism, Wilcoxon rank-sum test, MATLAB

KRAJČOVIČ, M. *Spirometrické měření pomocí systému PowerCube*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 64 s. Vedoucí bakalářské práce doc. MUDr. Zdeněk Wilhelm, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Spirometrické měření pomocí systému PowerCube jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 31. května 2013

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Ďěkuji vedoucímu bakalářské práce doc. MUDr. Zdeňkovi Wilhelmovi, CSc. a doc. Ing. Jane Kolářovej, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 31. května 2013

.....

(podpis autora)

Obsah

1. Úvod.....	7
2. Cieľ práce.....	7
3. Časť teoretická	7
3.1 Respirácia	7
3.1.1 Anatomický podklad	8
3.1.2 Fyziológia.....	9
3.1.3 Vzťah medzi respiráciou a metabolizmom	21
3.1.4 Zmeny ventilácie v priebehu fyzickej záťaže.....	26
3.1.5 Zmeny fyziologických funkcií u trénovaných osôb	26
3.2 Program Matlab	27
4. Časť praktická	28
4.1 Cieľ	28
4.2 Metodika	28
4.2.1 Plán merania	29
4.2.2 Charakteristika športovcov, nešportovcov	31
4.2.3 Popis systému PowerCube	33
4.2.4 Technické špecifikácie	33
4.2.5 Spôsob získavania, prenosu a spracovaniu dát zo systému PowerCube do programu MATLAB	40
4.2.6 Štatistické hodnotenie, jeho implementácia do systému MATLAB	42
4.2.7 Tvorba grafického výstupu.....	43
5. Výsledky	45
6. Diskusia.....	54
7. Záver	57
8. Zoznam príloh.....	59
8.1 Zoznam obrázkov	59
8.2 Zoznam tabuliek	60
9. Literatúra.....	62

1. Úvod

Dnešnú dobu charakterizujú informácie. Veľký objem získaných informácií môže mať ale malú výpovednú hodnotu, a tým aj celkovo malý význam, pokiaľ tieto informácie nie sú určitým spôsobom vytriedené, aby sa to podstatné, čo informácie obsahujú, ne Stratilo a nezapadlo. To sa týka všetkých oborov ľudskej činnosti, medicíny nevynímajúc.

2. Cieľ práce

Cieľom práce bolo overiť možnosti rýchleho vyhodnocovania rozdielov respiračných a metabolických parametrov, získaných meraním na systéme PowerCube - Ergo (Ganshorn Medizin Electronic GmbH - Nemecko) použitím programu MATLAB (The MathWorks Inc, USA) u nami zvolených dvoch skupín : športovcov a nešportovcov.

3. Časť teoretická

3.1 Respirácia

Pre zachovanie všetkých funkcií organizmu je nutná trvalá tvorba energie. Energia sa v organizme získava biologickou oxidáciou, pre ktorú je nenahraditeľný stály prísun kyslíka do tkanív. A práve obohacovanie krvi kyslíkom a odovzdávanie oxidu uhličitého je základnou funkciou dýchacieho systému[2][13].

Výmena plynov prebieha v pľúcach na alveolokapilárnej membráne. Funkčnosť respiračného systému je pre život nenahraditeľná (zastavenie oxygenácie mozgového tkaniva spôsobí smrť za niekoľko minút). Respiračný systém, je jediným pre život nenahraditeľným systémom, ktorého funkciu môžeme ovládať vôľou[2][19].

Pre správnu funkciu dýchania ako celku je nutná súhra niekoľkých dejov:

- Ventilácia – výmena vzduchu medzi pľúcami a vonkajším prostredím.
- Distribúcia – vedenie vzduchu systémom dýchacích ciest až k pľúcny m alveolom.
- Difúzia – prenos kyslíka a oxidu uhličitého cez alveoloárnu membránu
- Perfúzia (pľúcna cirkulácia) – špecificky prispôsobený systém prietoku krvnými cievami pre prenos plynov (kyslíka a oxidu uhličitého) [2][19].

Biologické oxidácie substrátov prebiehajú v mitochondriách a pre získavanie energie je teda navyše nutný:

Transport plynov krvou – fyzikálne a chemické deje umožňujúce prenos kyslíka a oxidu uhličitého k bunke. Bunkové dýchanie ako využite kyslíka pre biologickú oxidáciu v mitochondriách.

Regulácia dýchania – je riadiacou zložkou respirácie [2][13].

3.1.1 Anatomický podklad

Dýchacie ústrojenstvo (Systema respiratorium) vzniká spoločne s ústrojenstvom tráviacim. Vznikom tvrdého a mäkkého podnebia sa rozdelí primitívna dutina ústna na vlastnú dutinu ústnu a na dutinu nosnú (nad podnebím), ktorá začína vpredu vonkajším nosom s nozdrami a vzadu sa otvára choanami (vnútornými nozdrami) do nosohltanu [6][9].

Horné dýchacie cesty je spoločné označenie, v ktorom je zahrnutá dutina nosná (cavitas nasi) a na ňu nadväzujúci nosohltan (pars nasalis pharyngis). Dolné dýchacie cesty vznikajú samostatne, nezávisle na horných dýchacích cestách. K dolným dýchacím cestám patria:

- Hrtan (larynx) – spredu pripojený k pars laryngea pharyngis
- Priedušnica (trachea) – nepárová trubica nadväzujúca na hrtan
- Priedušky (bronchi) – párové trubice z trachey do pľúc a vo vnútri pľúc
- Pľúca (pulmones) – vlastný orgán dýchania [4][6][7].

Nosná dutina je spojená dutina vonkajšieho nosa a kostenej dutiny nosnej, úplne rozdelená nosnou prepážkou na pravú a ľavú časť. Rozlišuje sa predsieň nosnej dutiny a vlastná dutina nosná. Obidve časti sa líšia úpravou sliznice a jej epitelom [6][7].

Vedľajšie dutiny nosné sú vystlané sliznicou, obsahujú vzduch a ústia do jednotlivých priechodov dutiny nosnej. Hrtan je dlhý asi 6 cm. Má tvar presýpacích hodín. Skladá sa z nepárovej chrupavky štítnej, prstencovej, príchlopky hrtanovej a z párových chrupaviek hlasivkových. Tieto chrupavky sú vzájomne spojené pomocou väzov a kĺbov tak, že tvoria pružný celok. Stredná časť hrtanovej dutiny sa zužuje na hlasivkovú štrbinu, v ktorej sú napäté nepohyblivé hlasivkové väzy. Pri fonácii rozochvieva vzduch hlasové riasy a vzniká príslušný tón [6][7][9].

Priedušnica je trubica dlhá asi 12 cm. Skladá sa z chrupaviek v tvare podkovy, doplnených vzadu väzivovo – svalovou zadnou stenou. Zostupuje do medzihrudia a vo výške obratla Th₄ sa delí na dve priedušky – bronchus principalis dx. et sin., ktoré sa vnárajú v hĺbe pľúcnom do pľúc [4][6][7].

Priedušky je súhrnný názov pre rozvetvený systém trubíc vedúcich z priedušnice až do dýchacích odstavcov pľúc. Vetvenie bronchov zodpovedá stavebnému členeniu pľúc. Vytvárajú strom s konštantnými vetvami, označovaný ako arbor bronchialis, ktorého postupnými ďalej sa vetviacimi úsekmi sú hlavné bronchy (bronchi principales), ktoré sú dva (bronchus principalis dexter et sinister) [4][7][9].

Pľúca sú párový orgán, v ktorom sa uskutočňuje vonkajšie dýchanie. Na každom pľúci popisujeme širokú bázu (basis pulmonis), naliehajúcu na bránicu, vypuklú plochu rebrovú a plochu medzihrudnú – obrátenú do medzihrudia. Na tejto ploche je pľúcna stopa pre cievy, nervy a priedušky. V prednej časti je zárez pre srdce, na ľavom pľúci väčší. Nahor smeruje pľúcny hrot – apex pulmonis. Hlboké štrbiny delia pravé pľúce na tri a ľavé na dva laloky (lobi). Hlavné priedušky sa v pľúcach postupne delia na priedušky pre jednotlivé pľúcne laloky, segmenty, subsegmenty až na tenkostenné priedušinky pre lalôčky pľúcne a alveolárne chodbičky pre pľúcne skliepky, kde dochádza k výmene dýchacích plynov. Dýchacia plocha meria 50-80 m² [6][7][9].

Pľúčne skliepky (alveoli pulmonis) sú polkruhovité kanáliky. Ich stena je tvorená tenkým dýchacím epitelom, opradeným sieťou vlások napojených na malý krvný obeh. Na povrchu pľúc je tenká blana popľúcnice (pluera pulmonalis), ktorá v oblasti pľúcnej stopky prechádza vo vonkajší nástenný list, pohrudnicu (pleura parietalis). Medzi oboma listami je dutina pohrudničná s minimálnym množstvom mazľavej tekutiny, ktorá zabraňuje treniu oboch listov pri dýchaní. V dutine pohrudničnej je nižší tlak, než tlak atmosférický, čo umožňuje rozpínanie pľúc pri vdychu. Ak vnikne vzduch do pleurálnej dutiny, dôjde ku kolapsu pľúc (pneumothorax) [6][7][9].

3.1.2 Fyziológia

3.1.2.1 Výmena dýchacích plynov

Hnacou „silou“ ventilácie, teda výmeny plynov medzi alveolami a vonkajším prostredím sú rozdielne tlaky medzi týmito oddielmi. Pri vdychu (inspirácii) musí tlak v alveolách (alveolárny tlak, P_A = intrapulmonálny tlak) klesnúť pod hodnotu barometrického tlaku P_B v prostredí. Pri výdychu (expirácii) musí byť tlakový rozdiel opačný. Ak je P_B rovný nule, nadobúda P_A v priebehu inspirácie negatívnych a v priebehu expirácie pozitívnych hodnôt. Pre vytvorenie týchto tlakov sa objem pľúc musí pri inspirácii zväčšiť a pri expirácii zmenšiť, čo sa deje pohybmi bránice a hrudného koša. [1][33]

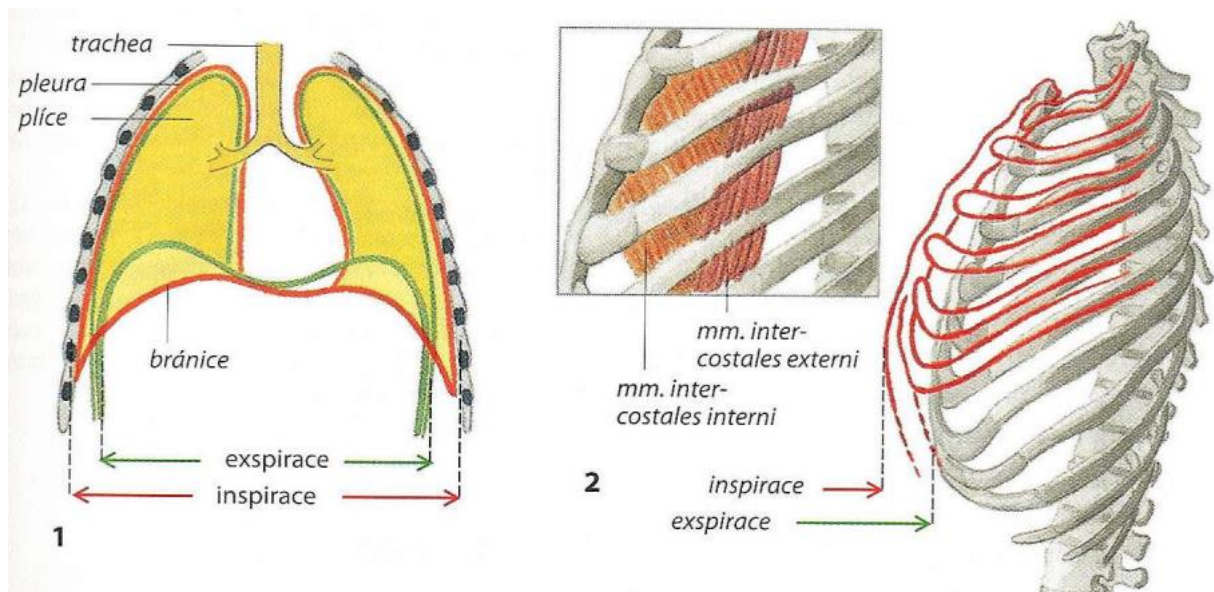
Vdych sa uskutočňuje:

- Sťahom (oploštením) bránice
- Zdvihom rebier (= zväčšenie hrudníka) sťahom mm. intercostales externi a niekedy mm. scaleni (pri rýchlom dýchaní)
- Ostatnými tzv. pomocnými dychovými svalmi, ktoré taktiež hrudný kôš zdvíhajú a rozširujú [1][33]

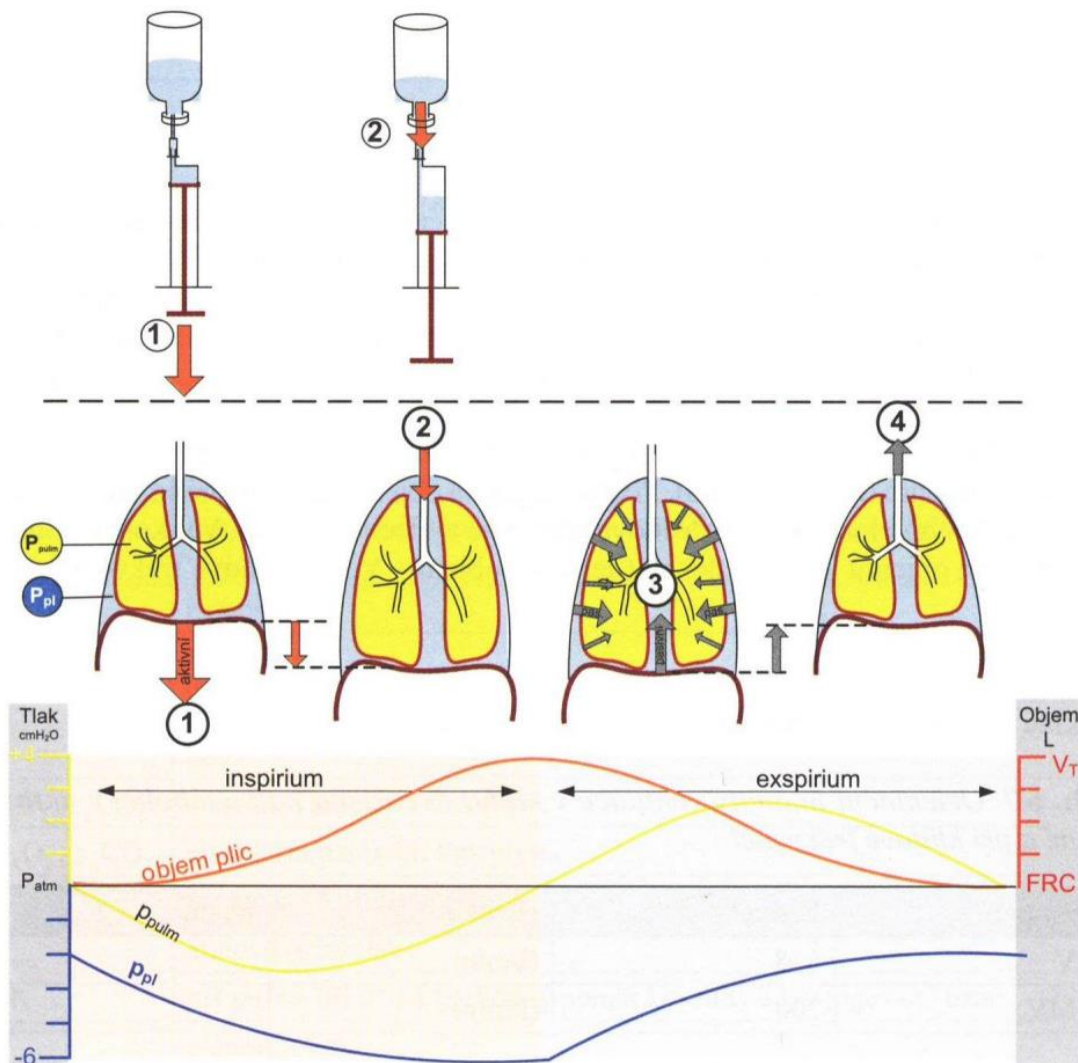
Pri výdychu sa uplatňuje

- Pasívne zmenšenie hrudného koša a pľúc v dôsledku ich tiaže a elasticity a pri zosilnenom výdychu
- Svaly brušnej steny, ktoré vytlačujú bránicu nahor
- Kontrakcie mm. intercostales interni [1][33]

Mm. intercostales externi, rovnako ako mm. intercostales interni spojujú vždy dve nad sebou ležiace rebra. Pohyby bránice a hrudného koša sú pre ventiláciu efektívne iba vtedy, ak ich pľúca nasledujú, bez toho aby boli k bránici alebo hrudnému košu úplne fixované. Je to dané tým, že medzi oboma listami pleury, ktorá pokrýva na jednej strane pľúca (pleura pulmonalis) a na strane druhej vystiela hrudník (pleura parietalis), je tenká vrstvička tekutiny. Pľúca majú pri normálnom stave tendenciu zmenšovať svoj objem (retrakčná sila), ktorý je daný ich vlastnou elasticitou a povrchovým napätím v alveoloch. Tekutina v pleurálnej štrbine avšak nie je roztlačiteľná, takže pľúca sa držia na vnútornom povrchu steny hrudného koša a v štrbine vzniká podtlak. Tento tlak sa nazýva pleurálny tlak P_{pl} (= intrapleurálny tlak = intratorakálny tlak) a je v porovnaní s atmosférickým tlakom negatívny. Keď sa hrudný kôš v priebehu dychu rozšíri, podtlak sa zväčší, zatiaľ čo pri výdychu opäť klesne. Iba pri výrazne usilovnom (forsírovanom) výdychu za prispenia expiračných svalov môže P_{pl} nadobúdať pozitívnych hodnôt [3][33].



Obrázok 1 : Dýchacie svaly [33]

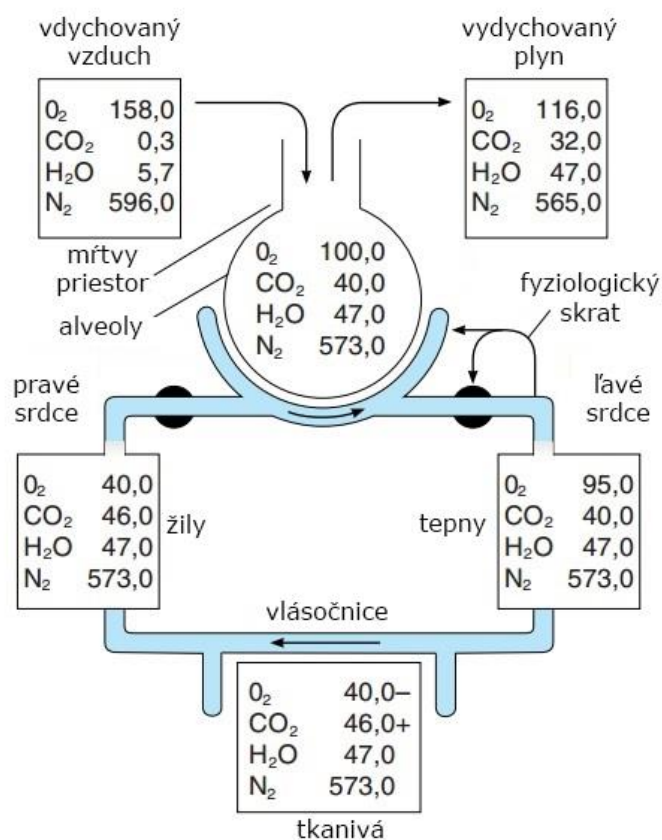


Obrázok 2 : Základná mechanika ventilácie [10]

V respiračnej fyziológii tlak plynu závisí na počte častíc (n), objeme (V) a teplote (T) podľa univerzálnej plynovej rovnice (R je univerzálna plynová konštanta) [1][8].

$$p \times \frac{V}{T} = R \times n \quad (1) [8]$$

Pri porovnávaní hodnôt tlaku preto môže byť veľmi podstatné za akých podmienok bola hodnota stanovená. Parciálny tlak je tlak, ktorým sa podieľajú jednotlivé plyny na celkovom tlaku vzduchu. Každý plyn v atmosfére generuje len taký tlak, aký zodpovedá jeho zastúpeniu v atmosfére. Napríklad kyslík tvorí 21% atmosféry, teda tlak kyslíka v atmosfére na hladine mora je 21% z 760 mm Hg = 160 mm Hg. Z tohto dôvodu uvádzame, že parciálny tlak kyslíka je 160 mm Hg. Parciálne tlaky plynov (mm Hg) v rôznych častiach respiračnej a obehovej sústavy môžeme vidieť na obrázku 3 [1][8][13].



Obrázok 3 : Parciálne tlaky plynov (mm Hg) v rôznych častiach respiračnej a obehovej sústavy[13]

Elastickými vlastnosťami respiračného systému, prácou dýchacích svalov a ďalšími vplyvmi vznikajú v dýchacích cestách, v interpleurálnom priestore a v alveolárnom priestore tlaky, ktorých rozdiely majú rozhodujúci význam pre prúdenie vzduchu, prípadne pre udržanie tvaru jednotlivých štruktúr [1][10][12].

Výsledkom protichodne pôsobiacich elastických vlastností pľúc a hrudníka a ich vzájomného spojenia je existencia subatmosférického tlaku v interpleurálnom, a tým aj v intratorakálnom priestore. Pri pokojnom dýchaní má interpleurálny tlak (Ppl) v expíriu hodnotu o 0,25 - 0,7 kPa (2-5 mmHg) nižšiu, ako je aktuálny atmosférický tlak okolo hrudníka v inspíriu. Pri rozpätí hrudníka tlak klesá na -0,8 až -1,1 kPa (-6 až -8 mmHg). Pri normálnom dýchaní je Ppl počas celého dychového cyklu subatmosférický. Pri silnom

inspiriu sa tlak znižuje na -4 kPa (-30 mmHg). U stojaceho alebo sediaceho človeka gravitácia pôsobením cez hmotnosť intratorakálnych štruktúr (najmä pľúc) zapríčiňuje, že Ppl má vyššie subatmosférické hodnoty (až -1,33 kPa, -10 mmHg) pri hrotoch pľúc a nižšie subatmosférické hodnoty smerom k bránici (len asi -0,333 kPa, -2,5 mmHg) [10][12][13].

Alveolárny tlak (PA) závisí od fázy dychového cyklu. Počas vdychu je negatívny, takže vzduch sa nasáva do pľúc, pri výdychu je pozitívny. Tlakovým gradientom medzi alveolárnym tlakom a atmosférou sa zabezpečuje cyklická výmena vzduchu [10][13].

Rozlišujeme tieto základné dychové objemy:

- Dychový objem (V_T) – množstvo vzduchu vymieňané každým normálnym vdychom a výdychom.
- Inspiračný rezervný objem (IRV) – množstvo vzduchu, ktoré môžeme nadýchnuť po normálnom vdychu maximálnym úsilím.
- Expiračný rezervný objem (ERV) – množstvo vzduchu, ktoré môžeme po normálnom výdychu ešte vydýchnuť maximálnym výdychom
- Reziduálny objem (RV) – množstvo vzduchu, ktoré ostane v pľúcach po maximálnom výdychu [8][13].

Pre posudzovanie funkčného stavu pľúc sú zavedené pojmy pľúcnych kapacít:

- Inspiračná kapacita (IC) – množstvo vzduchu, ktoré je možné maximálne nadýchnuť ($DV + IRV$)
- Funkčná reziduálna kapacita (FRC) – množstvo vzduchu, ktoré ostáva v pľúcach po normálnom výdychu ($ERV + RV$)
- Vitálna kapacita (VC) – množstvo vzduchu, ktoré môžeme z pľúc vypudieť po maximálnom vdychu ($V_T + IRV + ERV$)
- Celková kapacita (TLC) – je množstvo vzduchu, ktoré je v pľúcach na konci maximálneho vdychu ($V_T + IRV + ERV + RV$) [8][13].

Skratka	Význam	Orientačná hodnota
Statické parametre		
Objemy		
RV	reziduálny objem (R esidual V olume)	1,2 l
ERV	expiračný rezervný objem (E xpiratory R eserve V olume)	1,2 l
V_T	dychový objem (T idal V olume)	0,5 l
IRV	inspiračný rezervný objem (I nspiratory R eserve V olume)	3,0 l
Kapacity		
FRC	funkčná reziduálna kapacita (F unctional R esidual C apacity)	2,5 l
IC	inspiračná kapacita (I nspiration C apacity)	3,5 l
VC	vitálna kapacita (V ital C apacity)	5 l
TLC	celková pľúcna kapacita (T otal L ung C apacity)	6 l

Tabuľka 1 začiatok : Základné objemy a kapacity pľúc [10]

Dynamické parametre		
MV	minútová ventilácia (M inute V entilation)	8 l/min
MMV	maximálna minútová ventilácia (M aximal M inute V entilation)	200 l/min
FVC	usilovná vitálna kapacita (F orced V ital C apacity)	5 l
FEV1	jednosekundová vitálna kapacita (F orced E xpiratory V olume in 1 s)	4 l
PEF	maximálny výdychový prúd vzduchu (P eak E xpiratory F low)	12 l/s

Tabuľka 1 pokračovanie : Základné objemy a kapacity pľúc [10]

Pasívna rozťažiteľnosť pľúc a hrudníka (compliance) závisí okrem iného na povrchovom napätí. To vzniká na rozhraní medzi plynom a tekutinou, v prípade pľúc na vnútornej ploche alveolov veľkej asi 100 m² a slúžiace k výmene dýchacích plynov [3][10].

Účinok povrchového napätia v pľúcach si môžeme predstaviť ako silu v smere retrakcie pľúc k hľu. Mimo účinkov na stenu alveolov pôsobí aj na filtráciu na alveolokapilárnej membráne, ktorú zvyšuje. Tým prispieva k prestupu tekutiny do alveolov a vzniku edému [3][10][15].

Môžeme zhrnúť, že povrchové napätie:

- Znižuje elasticitu pľúc
- Prispieva k nehomogénnej distribúcii vzduchu v pľúcach
- Zvyšuje resorpciu tekutiny na úrovni alveolov

Dôsledkom toho je, že povrchové napätie plazma - vzduch by v pľúcach viedol k nestabilite a zrúteniu dýchania, čo sa taktiež deje u syndrómov nedostatku surfaktantu [10][15].

Surfaktanty sú látky, ktoré vďaka svojej štruktúre dokážu významne znižovať povrchové napätie. V princípe ide o detergenty, (ale pľúcne surfaktanty – fosfolipidy sú ďaleko účinnejšie). Unikátnou vlastnosťou pľúcnych surfaktantov je, že „dýchajú“ s pľúcami. V priebehu nádychu sa molekuly vzdľalujú (znižuje sa ich množstvo na plochu, a teda účinok, čo pri rastúcom objeme nevaďí). Pri výdychu sa molekuly približujú – koncentrujú (a mierne sa mení ich orientácia), a ich účinok sa teda zvyšuje. To je zásadný mechanizmus pre zabránenie kolapsu zmenšujúcich sa alveolov. Pritom v rýchlejšie sa zmenšujúcich alveolách sa surfaktant viac koncentruje a viac tak bráni ich vyprázdňovaniu do väčších alveol. Tým prispieva k rovnomernému rozpätiu a ventilácii pľúc a udržaniu V/Q pomeru (pomer ventilácie/perfúzie) [3][10][15].

3.1.2.2 Ventilácia

Ventilácia je cyklický proces vdychu (inspirium) a výdychu (expirium), pri ktorom sa vzduch z atmosféry (zmiešaný so vzduchom v dýchacích cestách) dostáva do alveol a takmer ten istý objem vzduchu ochudobnený o kyslík a obohatený o oxid uhličitý prechádza z alveol do atmosféry. Veľkosť ventilácie je veľmi presne riadená z centier v mozgu (podľa koncentrácie CO₂, krvného pH, O₂ a ďalších parametrov) a minútová ventilácia môže významne kolísať medzi asi 6-180 l/min (u dospelých), predovšetkým v závislosti na záťaži. Typicky sa ventilácia udáva ako minútová ventilácia (MV, V_E), teda v jednotkách objemu za

minútu. Veľkosť ventilácie je súčin objemu jedného dychu (V_T – dychový objem) a dychovej frekvencie (f) [10][15][16]:

$$MV = V_T \times f \quad (2) \quad [10]$$

Ventilácia, teda prúdenie vzduchu, je dôsledkom rozdielov tlakov medzi alveolami a atmosférou. Vzduch prúdi do pľúc, len pokiaľ je v nich nižší tlak ako v atmosfére (presnejšie než vo vdychovanom vzduchu) a naopak. Časť nadýchnutého vzduchu musí vždy nutne zostať v dýchacích cestách a nepodieľa sa tak na výmene plynov (vzduch - krv). Táto časť dychového objemu sa nazýva anatomický mŕtvy priestor V_D (Volume Dead). Zostávajúca časť nádychu je alveolárny priestor, V_A [1][10][16].

$$V_T = V_D + V_A \quad (3) \quad [10].$$

Výmena plynov v mŕtvom priestore nie je možná z morfológických alebo funkčných dôvodov. Anatomický mŕtvy priestor tvoria dýchacie cesty do úrovne respiračných bronchiolov. Funkčný (alveolárny) mŕtvy priestor je objem alveolárneho vzduchu (nie bronchy), kde neprebíha dostatočná výmena plynov napr. pri narušenej difúzii alebo perfúzii [1][10][16].

Minútová ventilácia zahŕňa jednak alveolárnu ventiláciu a jednak ventiláciu mŕtveho priestoru a je ich súčtom:

$$MV = V_D + V_A \quad (4) \quad [10]$$

Len alveolárna ventilácia dokáže zaistiť výmenu plynov, teda prívod O_2 a odvod CO_2 z organizmu. Alveolárna ventilácie je preto rozhodujúca pre adekvátnosť ventilácie [10][16].

3.1.2.3 Difúzia

Výmena dýchacích plynov v pľúcach prebieha na základe fyzikálnych zákonov. Rozhodujúcu úlohu tu majú rozdiely parciálnych tlakov pO_2 a pCO_2 na oboch stranách alveolokapilárnej membrány, ako aj plocha, hrúbka a stav tejto membrány. Plyny sa v kontakte s kvapalinou rozpúšťajú podľa Henryho zákona. Podľa tohto zákona platí, že rozpustnosť plynu v kvapaline je priamo úmerná tlaku plynu nad kvapalinou a nepriamo úmerná molekulovej hmotnosti. Pri molekulovej hmotnosti 32 pre O_2 a 44 pre CO_2 to znamená, že rýchlosť difúzie CO_2 v plynnom prostredí je 0,86-násobkom rýchlosti difúzie O_2 . Rýchlosť difúzie v kvapalnom prostredí však závisí nielen od molekulovej hmotnosti, ale aj od rozpustnosti plynu – absorpčného koeficientu. Rozpustnosť CO_2 je až 23-krát väčšia ako rozpustnosť O_2 . Preto CO_2 difunduje z krvi do alveol asi 20-krát ľahšie ako O_2 v opačnom smere. Plocha difúzie, t. j. plocha alveolokapilárnej membrány v pľúcach dospelého človeka je asi $70m^2$. Takáto plocha je potrebná na difúziu dostatočného množstva plynov cez alveolokapilárnu membránu, pretože difúzia je z energetického hľadiska pasívny a pomalý proces. Erytrocyt zostáva v pľúcnej kapiláre len asi 0,3 - 0,5 s. Pri tak veľkej difúznej ploche sa parciálne tlaky na oboch stranách membrány u zdravého človeka vyrovnávajú už za 0,25 s. Tlakový gradient pre O_2 je asi 8 kPa (60 mmHg), pre CO_2 je 0,8 kPa (6 mmHg), teda až 10-krát menší. Hrúbka membrány je približne 0,6 – 0,8 μm (najtenšie miesta merajú až 0,2 μm). Difúzna dráha, cez ktorú musia prejsť molekuly plynov, sa skladá z vrstvičky surfaktantu, z alveolárneho epitelu, endotelu kapilár, z vrstvičky plazmy a pri prenose erytrocytov aj z membrány erytrocytu a intracelulárnej tekutiny erytrocytu [2][5][16].

Difúzna kapacita pľúc (D_L) je objem plynu, ktorý difunduje cez celú plochu alveolokapilárnej membrány za 1 min pri tlakovom gradiente príslušného plynu 0,133 kPa (1 mmHg). Difúzna kapacita pľúc pre O_2 (D_{LO_2}) je objem kyslíka, ktorý prestupuje

alveolokapilárnou membránou za 1 min pri tlakovom gradiente príslušného plynu 0,133 kPa (1 mmHg) medzi alveolárnym vzduchom a kapilárnou krvou. $D_{L}O_2$ je v pokoji 5 – 7 mmol/l/min/kPa. V prípade potreby sa môže zvyšovať zlepšením perfúzie kapilárneho riečiska pľúc, ako aj zvýšením alveolárnej ventilácie. Difúzna kapacita pre CO_2 ($D_{L}CO_2$) je asi 20-krát vyššia ako pre O_2 , a preto sa ani pri poruchách alveolokapilárnej membrány difúzia CO_2 nenarušuje [2][5][12].

3.1.2.4 Perfúzia – prietok krvi

Pľúca majú dvojitý obeh:

- Nutritívny obeh – slúži k výžive pľúcneho tkaniva, tvorí 1-2 % minútového objemu srdečného, je súčasťou systémovej cirkulácie a privádza do pľúc okysličenú krv.
- Funkčný obeh – zásadne sa líši od systémovej cirkulácie. Rozdiel je daný predovšetkým nízkym tlakom a odporom v pľúcnom cievnom riečisku a odlišnou reguláciou krvného prietoku [2][11][16].

Pľúcne riečisko je nízkotlaké. Tlakový spád (transpulmonárny gradient) v pľúcnom obehu (rozdiel stredného tlaku v pľúcnici a tlaku v ľavej sieni, kde tlak končí) je 10 mmHg, tlakový spád vo veľkom obehu (rozdiel stredného tlaku v aorte a tlaku v pravej sieni) je 98 mmHg. Tieto rozdiely vychádzajú z rozdielov vo funkcii oboch obehov. Funkciou veľkého obehu je zásobovať krvou všetky orgány. Malý obeh musí pojať rovnaký minútový objem srdečný a jeho arteriálny tlak je teda iba taký vysoký, aby stačil k distribúcii krvi k pľúcnemu apexu [2][12][15].

Krvný prietok pľúcami nie je vo všetkých oblastiach rovnomerný. Je ovplyvnený jednak hydrostatickým tlakom a jednak lokálnymi faktormi (hypoxia). Rozdiel v hydrostatickom tlaku bázii a vrcholu pľúc (vzdialenosť 30 cm) je 30 cm H_2O (asi 22 torr). V nízkotlakom riečisku je tento tlak významným faktorom, ktorý ovplyvňuje prekrvenie v jednotlivých oblastiach. Schématicky môžeme v pľúcach rozoznať 3 oblasti – Westove zóny, ktoré sa líšia tlakovými pomermi medzi tlakmi: P_A (alveolárny), P_a (arteriálny) a P_v (venózný) [2][12][15].

V oblasti vrcholu (zóna 1) je arteriálny tlak nižší, než tlak alveolárny, kapiláry sú teda kolabované. Venózný tlak je nižší než obidva zmienené tlaky. V strednom segmente (zóna 2) je arteriálny tlak vyšší, než alveolárny. Za týchto podmienok je krvný prietok určený tlakovým rozdielom medzi arteriálnym a alveolárnym tlakom. Veľkosť venózneho tlaku krvný prietok neovplyvní. V bazálnej oblasti (zóna 3) je venózný tlak vyšší, než alveolárny (o hydrostatický tlak) a prietok krvi touto oblasťou je určený rozdielom medzi arteriálnym a venóznym tlakom [2][11][16].

3.1.2.5 Vzťah ventilácie / perfúzie

V pokoji je pomer pľúcnej ventilácie k prietoku krvi pľúcami v pľúcach ako celku približne 0,8 (4,2 l/min ventilácie delené 5,5 l/min prietoku krvi). Gravitácia však spôsobuje u zdravých jedincov výrazné rozdiely pomeru ventilácie k perfúzii v rôznych častiach pľúc. Lokálne zmeny tohto pomeru sú časté v chorobe. Ak sa zníži ventilácia alveolov vzhľadom k jeho perfúzii, potom pO_2 v alveoloch poklesne, pretože je dodávaného menej O_2 a pCO_2 stúpa, pretože je vydychované menej CO_2 . Naopak, ak je perfúzia znížená vzhľadom k ventilácii, pCO_2 sa zníži, pretože je ho menej dodávaného a pO_2 stúpne, pretože je ho menej odoberaného krvou. Ako ventilácia, tak perfúzia pľúc sa v vzpriamenej polohe rovnomerne znižuje od báze k pľúcnemu hrotu. Pomer ventilácie k perfúzii je však vysoký v horných oblastiach pľúc [5][13][17].

3.1.2.6 Transport O₂ – Bohrov efekt

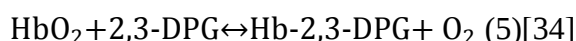
Spotreba kyslíka v pokoji u dospelého človeka činí zhruba 250 ml/min. Rozpustnosť kyslíka v plazme je však nízka a pri tlaku pO₂ 13 kPa krv obsahuje iba 3 ml/l O₂ rozpusteného v roztoku. Preto je prevažná väčšina kyslíka transportovaná väzbou na hemoglobín červených krviniek. Každý gram hemoglobínu sa môže viazať s 1,34 ml O₂, a tak pri koncentrácii Hb 150 g/l môže krv obsahovať až 200 ml O₂/l. Aktuálne množstvo O₂ viazaného na hemoglobín (O₂ obsah) závisí na pO₂. Každá molekula hemoglobínu viaže až štyri molekuly O₂. Väzba je kooperatívna, takže väzba každej ďalšej molekuly O₂ väzbu uľahčuje. To činí O₂ disociačnú krivku hemoglobínu strmú, ako ukazuje grafické vyjadrenie vzťahu medzi obsahom krvného O₂ a pO₂. Vysoký podiel pO₂ v pľúcach uľahčuje väzbu O₂ na hemoglobín, zatiaľ čo nízky P_{O₂} v tkanivách uľahčuje jeho uvoľňovanie. Disociačnú krivku hemoglobínu ovplyvňujú tri dôležité podmienky [14][36]:

- pH
- teplota
- koncentrácia 2,3-difosfoglycerátu (DPG; 2,3-DPG)
- CO

Zvýšenie teploty alebo pokles pH posunujú krivku doprava (obrázok 4). Keď sa krivka posunie týmto smerom, znamená to, že k naviazaniu rovnakého množstva kyslíka je potrebný vyšší pO₂. Naopak pokles teploty a zvýšenie pH posunuje krivku doľava, a teda pre naviazanie daného množstva O₂ je potrebný nižší pO₂. Užitočným indexom týchto posunov je P₅₀, čo je pO₂, pri ktorom je hemoglobín saturovaný práve z polovice. Čím je P₅₀ vyšší, tým menšia je afinita hemoglobínu k O₂ [14][36].

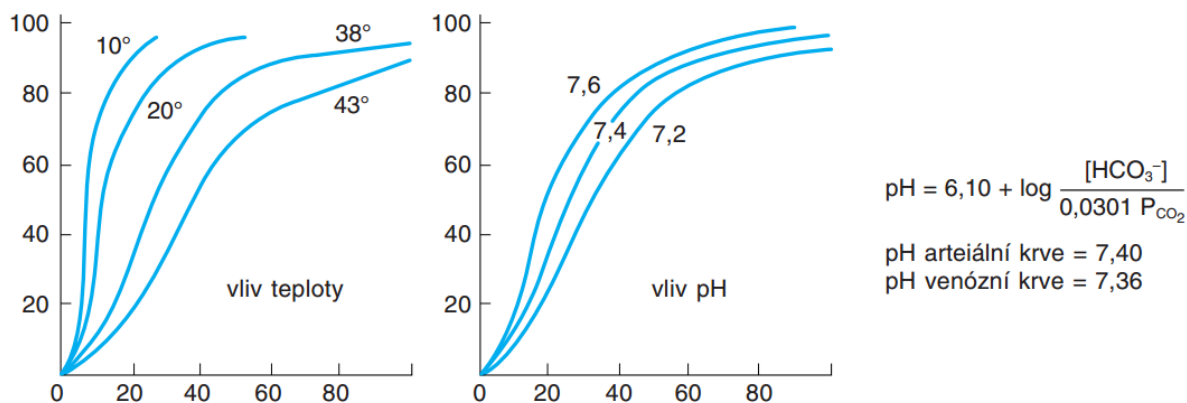
Zníženie afinity hemoglobínu k O₂, pri poklese pH sa nazýva Bohrov efekt. Ten je v úzkom vzťahu k skutočnosti, že deoxygenovaný hemoglobín (deoxyhemoglobín) viaže H⁺ účinnejšie než oxyhemoglobín. Keď sa obsah CO₂ v krvi zvyšuje, pH klesá. Teda pri zvýšení pCO₂ sa krivka posunuje doprava a zvyšuje sa P₅₀. Väčšina hemoglobínu je v tkanivách desaturovaná v dôsledku poklesu pO₂, ale ďalších 1-2 % desaturácie možno pričítať na vrub zvyšovania pCO₂ a následnému posunu disociačnej krivky doprava [17][36].

Červené krvinky obsahujú veľa 2,3-DPG. Ten sa vytvára z 3-fosfoglyceraldehydu, produktu glykolýzy Embdenovou-Meyerhofovou cestou. Jedná sa o vysoko nabitý anión, ktorý sa viaže na β-reťazce deoxyhemoglobínu. Jeden mol deoxyhemoglobínu viaže jeden mol 2,3-DPG. Tak vzniká [34][36]

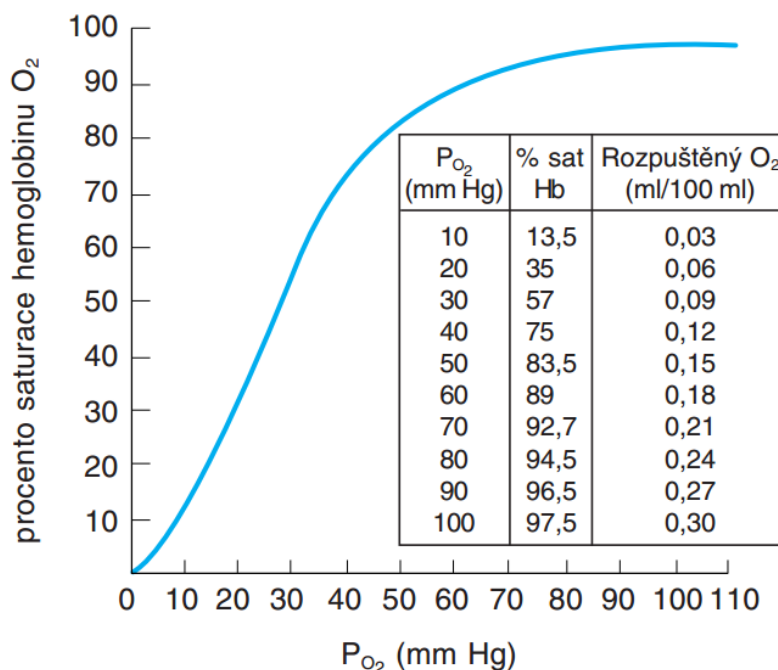


V tejto rovnici zvýšenie koncentrácie 2,3-DPG posunuje reakciu doprava, a tak pôsobí väčšie uvoľnenie O₂ [34].

Afinita hemoglobínu k oxidu uhoľnatému je až asi 300 krát vyššia než afinita Hb ku kyslíka a disociácia HbCO je omnoho pomalšia než disociácia HbO₂. Preto je už pri nízkych koncentráciách CO vo vdychovanom vzduchu blokována značná časť hemoglobínu a klesá transportná schopnosť krvi pre kyslík [12][34][36].



Obrázok 4 : Vplyv pH a teploty na disociačnú krivku hemoglobínu [34]

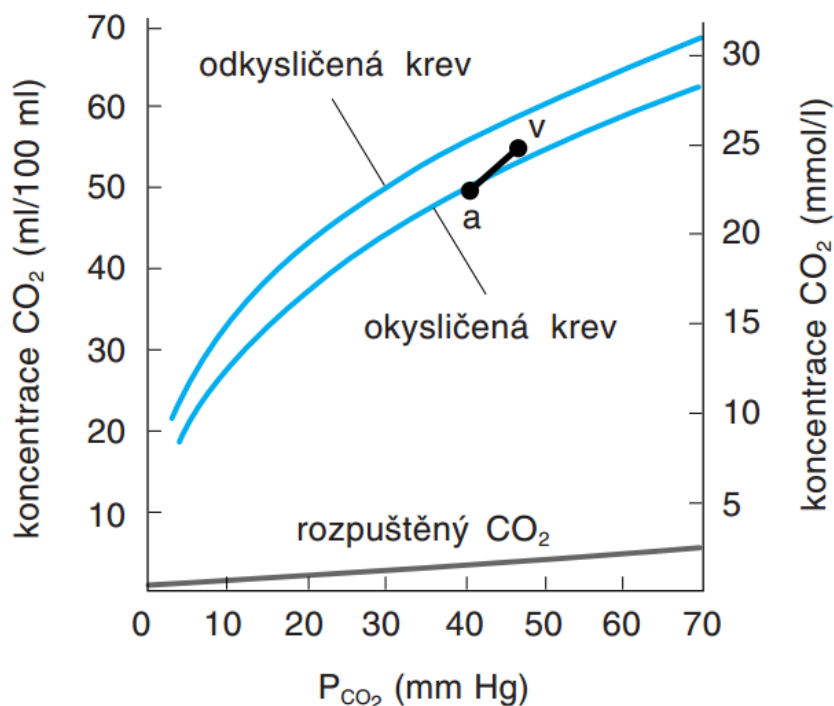


Obrázok 5: Disociačná krivka hemoglobínu pre O_2 (pH = 7,40;teplota = 38°C) [34]

3.1.2.7 Transport CO_2 – Haldaneov efekt

CO_2 vzniká v tkanivách a transportuje sa do pľúc, odkiaľ je vydychovaný. Krv je schopná prenášať viac CO_2 než O_2 . CO_2 je prenášaný ako hydrogénuhlčitan, karbaminové zlúčeniny, alebo jednoducho rozpustený v plazme. Zhruba 60 % CO_2 je prepravovaná vo forme hydrogénuhlčitanu. Voda a CO_2 vytvárajú kyselinu uhličitú H_2CO_3 a vzniká hydrogénuhlčitan. Prednostne sa tvorí v červených krvinkách, odkiaľ ľahko difunduje von. Červené krvinky sú však nepriechodné pre H^+ ióny, zatiaľ čo Cl^- vstupuje do buniek pre udržanie elektrickej neutrality (chloridový posun). H^+ sa ľahko viaže na deoxygenovaný (redukovaný) hemoglobín, a tak mierne narastá koncentrácia H^+ zabraňujúca ďalšej tvorbe hydrogénuhlčitanu. Oxygenovaný hemoglobín na rozdiel od deoxygenovaného už neviaže tak dobre H^+ a tak sa v pľúcach H^+ uvoľňuje z hemoglobínu a posunuje rovnicu CO_2 - HCO_3^- doľava a pôsobí pri vykladaní CO_2 z krvi. Opak sa deje v tkanivách. Nazýva sa to Haldaneov efekt. Krv viaže CO_2 tým lepšie, čím viac je deoxygenovaná a naopak. Karbaminové zmesi

vznikajú reakciami CO_2 s bielkovinovými aminoskupinami. Prevažujúcou bielkovinou krvi je hemoglobín, ktorý s CO_2 utvára karbaminoemoglobín. To sa deje ľahšie u deoxygenovaného, než oxygenovaného hemoglobínu. Karbaminové zlúčeniny dopravujú plazmou 30 % CO_2 . Rozpustený CO_2 je asi 20-krát rozpustnejší v plazme než kyslík a zhruba 10 % CO_2 je v krvi prepravované v roztoku[1][3][7][12].



Obrázok 6 : Disociačná krivka CO_2 . Arteriálny(a) a venózný bod (v) predstavujú obsah CO_2 v arteriálnej a venóznjej krvi u zdravého človeka v pokoji [34]

3.1.2.8 Ischémia – hypoxia, anoxia

Ischémia je nedostatočný prietok krvi potrebný k poskytovaniu adekvátnej oxygenácie. To vedie k hypoxii alebo anoxii. Hypoxia znamená nedostatok O_2 v tkanivách. Anoxia znamená absenciu O_2 v tkanivách. Situácie, kedy v tkanive nezostane žiadny O_2 , sú v celku výnimočné. Ischémia má vždy za následok hypoxiu, avšak hypoxia môže nastať bez ischémie, napríklad v dôsledku znižovania obsahu kyslíka v krvi spôsobeným anémiou. Tradične je hypoxia delená do štyroch typov:

- Hypoxická (anoxická) hypoxia – pri ktorej je znížený pO_2 arteriálnej krvi
- Anemická hypoxia – kedy je arteriálny pO_2 normálny, ale množstvo hemoglobínu schopného transportovať O_2 znížené
- Stagnačná (ischemická) hypoxia – pri ktorej je prietok krvi tkanivami znížený natoľko, že nie je možné dodať tkanivám dostatok O_2 , aj napriek tomu, že koncentrácia hemoglobínu a pO_2 sú normálne
- Histoxická hypoxia – pri ktorej je do tkaniva dodávaný dostatok O_2 , ale nemôžeme ho využiť, pretože bolo poškodené pôsobením toxických látok

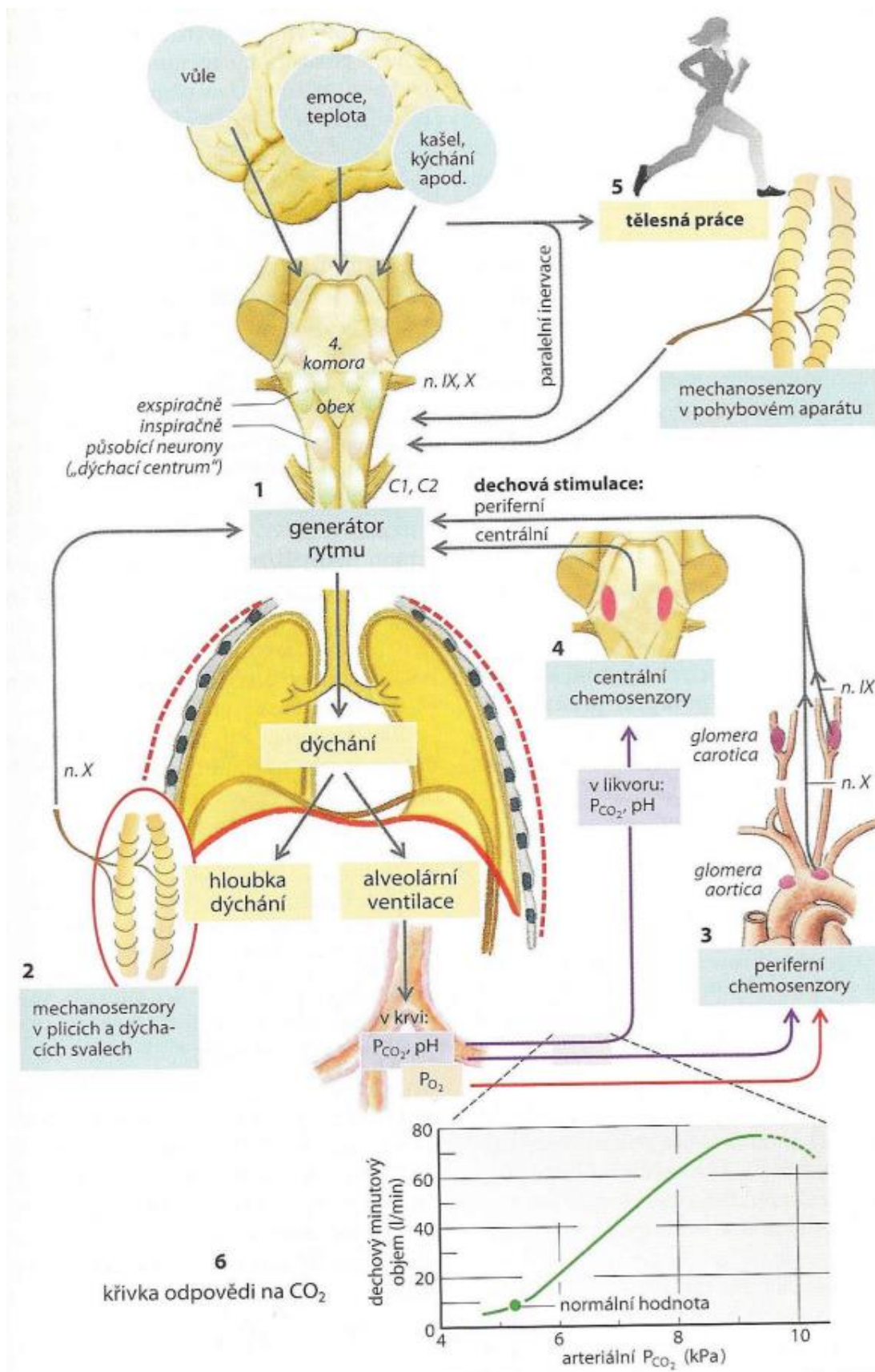
Následky stagnačnej hypoxie závisí na tkanive, ktoré zasiahli. Pri hypoxickej hypoxii a ostatných generalizovaných formách hypoxie je najpvi postihnutý mozog[13].

3.1.2.9 Regulácia dýchania

Dýchanie je riadené centrálné. Dýchacie svaly sú inervované vláknami z krčnej a hrudnej miechy (C4-8,Th1-7). K miestnym motoneurónom prichádzajú dráhy z predĺženej (medulla oblongata) a krčnej miechy, kde sa priestorovo oddelene nachádzajú skupiny inspiračne a expiračne aktívnych neurónov, ktoré sú však navzájom prepojené (obrázok 7 červené - inspiračné a zelené – expiračné pole) a dohromady tvoria generátor dýchacieho rytmu (tzv. dýchacie centrum). Tieto skupiny neurónov sú činné striedavo, vzájomne sa inhibujú, a tak dochádza k striedaniu výdychu a nádychu. Sú tonicky, tj. nezávisle na rytme dýchania, aktivované z formatio reticularis, ktorá zase dostáva modulačné aferencie (podnety ovplyvňujúce dýchanie) z periférie a vyšších oblastí mozgu [2][3][33].

Časť týchto podnetov pre riadenie dýchania je pomocou receptorov sledovaná a ovplyvňovaná spätnými väzbami, kde regulovanou veličinou sú buď parciálne tlaky dýchacích plynov v krvi a v likvore sledované pomocou chemoreceptorov, alebo hĺbka jednotlivých dychov aktivuje mechanoreceptory (rozpínanie pľúc). Tak sprostredkovávajú pomaly sa adaptujúce ťahové receptory pľúc, steny trachey a bronchov Heringov-Breureov reflex. Ten, ako sa zdá, obmedzuje u človeka v priebehu zvýšenej ventilácie hĺbku dychu. Ďalšie spätné informácie prichádzajú zo svalových vretienok dýchacích svalov a prispôbujú činnosť týchto svalov odporom pľúc a hrudníka uplatňujúcim sa pri ventilácii [2][3][33].

Rozsah spontánnej ventilácie je v prvej rade vymedzený parciálnymi tlakmi pO_2 a pCO_2 a hodnotou pH v krvi a likvore. Spätná väzba je tu sprostredkovaná pomocou chemosenzorov. Periférne chemoreceptory v oblúku aorty a pri a. carotis communis (glomus aorticum, glomus caroticum) registrujú predovšetkým pO_2 arteriálnej krvi. Pri jeho poklese je dýchanie stimulované prostredníctvom vlákien v n. vagus a n. glossopharyngeus (nn. X a IX), takže pO_2 v krvi opäť stúpne. Podobný stimulačný účinok majú taktiež vzostup pCO_2 a pokles pH v krvi. Frekvencia impulzov z týchto senzorov prudko stúpa, ak klesne arteriálny pO_2 pod 13 kPa. Táto závislosť je ešte výraznejšia, ak sa súčasne zvýši pCO_2 alebo ak sa zvýši koncentrácia H^+ . Na vzostup CO_2 (a tým pokles pH) v likvore reagujú centrálné chemoreceptory na prednej strane predĺženej miechy. Tento podnet zvýši ventiláciu tak, že v krvi a v likvore klesne pO_2 a pH opäť stúpne. Táto prevažne centrálna dychová stimulácia je akútne veľmi účinná (keď stúpne arteriálny pO_2 z 5 na 9 kPa, minútová ventilácia sa približne zdesaťnásobí) [2][3][33].



Obrázok 7 : Regulácia dýchania, dychové podnety [33]

3.1.3 Vzťah medzi respiráciou a metabolizmom

Pojem metabolizmus doslova znamená „zmena“ a používa sa k označeniu všetkých chemických a energetických premien prebiehajúcich v tele. Živočíšny organizmus oxiduje sacharidy, proteíny a tuky a tak produkuje CO_2 , H_2O a energiu nenahraditeľnú pre životné procesy. CO_2 , H_2O a energia vznikajú aj vtedy, keď sa potrava spáli mimo telo. V tele avšak oxidácia neprebíha ako jednorázová reakcia, ale ako komplexný, pomalý a postupný proces, nazývaný katabolizmus. Pri ňom sa energia uvoľňuje v malých využiteľných množstvách. Energia môže byť v tele uskladnená v energeticky bohatých fosfátových zlúčeninách a v látkach syntetizovaných z jednoduchších molekúl – proteínoch, tukoch a komplexných sacharidoch. Tvorba týchto zlúčenín, ktorá energiu skôr spotrebováva než uvoľňuje, sa označuje ako anabolizmus [1][13].

Svalová kontrakcia využíva priamo energiu adenosíntrifosfátu (ATP). Avšak zásoba ATP vo svalovej bunke je veľmi obmedzená (bežec na 100 metrov by sa s ňou dostal len na 10-20 m ďaleko). Spotrebovaný ATP je preto priebežne regenerovaný, takže intracelulárna koncentrácia ATP zostáva pri zvýšenej spotrebe prevažne konštantná [15][33][36].

Pre regeneráciu ATP je k dispozícii

1. Štiepenie kreatínfosfátu (CrP)
2. Anaeróbná glykolýza
3. Aeróbná oxidácia glukózy a mastných kyselín [15][33][36]

Procesy 2 a 3 nabiehajú pomalšie, takže vo svalovej bunke je k rýchlej akcii využívaná chemická energia CrP: pri štiepení ATP vznikajúci ADP je kreatínkinázou mitochondrií rýchlo premieňaný na ATP (a kreatín, Cr). Zásoba CrP (asi $25\mu\text{mol}$ na g svaly) umožňuje krátkodobé špičkové výkony (10-20s, napr. beh na 100m) do vyčerpania rezervy [15][33][36].

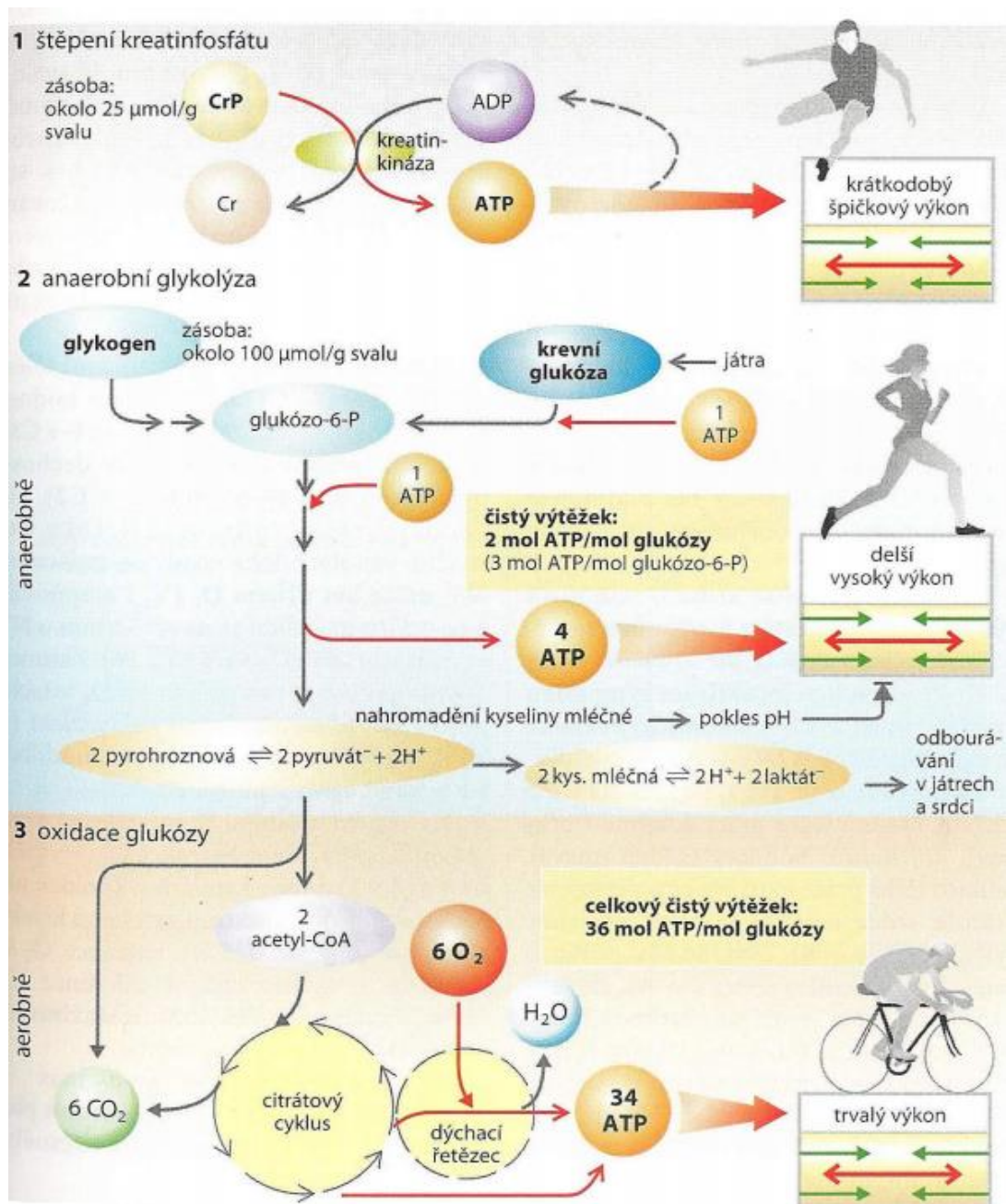
Anaeróbná glykolýza nastupuje oproti štiepeniu CrP o trochu neskôr (maximum asi o 0,5 min). Pri tom je vo svalu uložený glykogén odbúravateľný cez glukózo-6-fosfát na kyselinu mliečnu (poskytuje 3 ATP na glukózový zvyšok). Pri ľahkej práci je laktát metabolizovaný v srdci a pečeni za spotreby H^+ a táto málo vynášajúca regenerácia ATP je po asi 1 minúte vystriedaná aeróbnym odbúraním glukózy a mastných kyselín. Keď to však pri ťažkej práci nestačí, prebieha vedľa toho ďalej anaeróbná glykolýza, pričom je teraz prednostne odbúravaná glukóza odoberaná z krvi (z pečene - glykogenolýza a glukoneogenéza) a poskytuje len 2ATP/glukózu, pretože 1ATP je spotrebované na 6-fosforyláciu glukózy [15][33][36].

Trvalé výkony sú možné iba pri aeróbnej regenerácii ATP z glukózy (2+34 ATP/glukózu) a tukov. K tomu musí byť tak dlho zvyšovaný srdečný minútový výdaj a ventilácia, pokiaľ sa neprispôsobí požiadavkám svalového metabolizmu (srdečná frekvencia bude konštantná). Než je táto rovnováha (steady state- ustálený stav) dosiahnutá, uplynie niekoľko minút, ktoré sú prekonané jednak prostredníctvom anaeróbného získavania energie, jednak zvýšeným odberom O_2 z krvi a využitím krátkodobých zásobárň O_2 v svalu (myoglobín), pričom prechod medzi obidvoma fázami je často vnímaný ako „mŕtvy bod“ [15][33][36].

Po prekročení hranice vytrvalostného výkonu, ktorá je u špičkových športovcov asi 370 W a závisí predovšetkým na rýchlosti prísunu O_2 a aeróbnym odbúraním glukózy a tukov, nie je možné dosiahnuť stavu ustáleného (napr. tepová frekvencia stále stúpa). Nedostatok energie môže byť síce prechodne pokrytý, ale vysoká anaeróbná regenerácia ATP vedie k tomu, že odbúravanie laktátu (spotrebovávajúce H^+) už nemôže držať krok.

V dôsledku toho sa hromadia ionty H^+ , ktoré vznikajú pri disociácii kyseliny mliečnej na laktát. Pri prekročení asi 60-65 % maximálnej výkonnosti (maximálneho príjmu O_2) vzrastá v plazme veľmi strmo koncentrácia laktátu a pri 4 mmol/l dosiahne tzv. anaeróbného prahu, nad ktorým už nie je možné očakávať väčšie zvýšenie výkonu. Systémový pokles pH (laktacidóza) nakoniec stále viac tlmí chemické reakcie nenahraditeľné pre svalovú kontrakciu a vzniká nedostatok ATP s rýchlou únavou a nakoniec je nutné prácu prerušiť [15][33][36].

Pri štiepení CrP a anaeróbnej glykolýze môže organizmus po dobu asi 40 sekúnd podať trojnásobný výkon oproti aeróbnej regenerácii ATP, avšak za cenu deficitu O_2 , ktorý musí byť v nasledujúcej pokojovej prestávke uhradený ako kyslíkový dlh. To slúži najmä k regenerácii zásob a odbúravaniu laktátu v pečeni a srdci. Po veľmi ťažkej práci je z mnohých dôvodov kyslíkový dlh podstatne väčší (až 20l) než deficit O_2 [15][33][36].



Obrázok 8 : Regenerácia ATP [33]

3.1.3.1 Priama Kalorimetria

Metóda priamej kalorimetrie vychádza z predpokladu, že množstvo energie uvoľnené oxidáciou energetických látok potravy je rovnaké ako množstvo energie uvoľnené spálením potravy mimo organizmu. Energiu uvoľnenú spálením potravy mimo telo je možné merať priamou oxidáciou zlúčenín v prístroji zvanom kalorimeter. Kalorimeter je kovová nádoba obklopená vodou, umiestnená vo vnútri tepelne izolovaného plášťa. Potrava sa zapáli elektrickou iskrou. Zmena teploty okolitej vody je merítkom množstva vytvorených kalórií. Podobné merania energie uvoľnenej spálením chemických látok sú u živých zvierat a ľudí omnoho zložitejšie. Boli zostrojené aj kalorimetre, do ktorých je možné umiestniť človeka. Teplo vytvárané telom sa meria podľa zmeny teploty vody umiestnenej v kalorimetri [15][16].

3.1.3.2 Nepriama Kalorimetria, respiračný kvocient

Bazálny metabolizmus a energetický výdaj sa v medicínskej praxi meria väčšinou nepriamo. Bazálny metabolizmus je minimálna kalorická potreba pre zabezpečenie základných vitálnych funkcií v pokojovom stave. Nepriame meranie sa opiera o poznatok, že množstvo tepla uvoľnené za jednotku času pri premene látok v organizme možno vypočítať podľa množstva spotrebovaného O_2 a vytvoreného CO_2 , poprípade metabolitov dusíku. Kyslík v organizme sa neukladá do zásoby, a tak možno jeho spotrebu ľahko určiť spirometrom. Množstvo energie, ktoré sa uvoľňuje v organizme pri spotrebe 1 l kyslíka, závisí od druhu oxidovaných živín a označuje sa ako energetický ekvivalent O_2 . Výdaj energie pri zistenej spotrebe O_2 je potom súčinom spotrebovaného kyslíka a známeho energetického ekvivalentu (tabuľková hodnota) na základe aktuálneho respiračného kvocientu. Zistená hodnota bazálneho metabolizmu za 24 h sa porovnáva s normou, s tzv. štandardom, ktorý je daný súčtom hodnoty bazálneho metabolizmu pre hmotnosť a pohlavie a hodnoty pre vek a výšku daného pohlavia (tabuľkové hodnoty). Štandardný bazálny metabolizmus možno vypočítať podľa vzorca[11][13]:

$$BM = 293 \times \text{hmotnosť} (kg)^{0,75} (6)[23].$$

Výsledkom porovnania je percentuálne vyjadrenie zmeny bazálneho metabolizmu oproti štandardu pre daného jedinca[11].

Existuje mnoho výpočtov pre stanovenie energetického výdaja. Najznámejším je výpočet pomocou Harris - Benedictovej rovnice, ktorá určuje hodnotu bazálneho energetického výdaju – BEE (Basal Energy Expenditure) na základe váhy, výšky, veku a pohlavia [1].

Harris- Benedictova rovnica sa počíta podľa nasledovného vzorca:

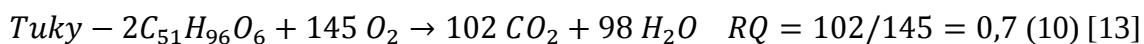
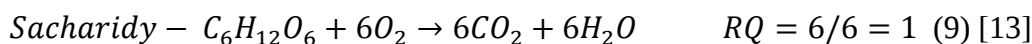
$$\text{Muži: } 66,5 + (13,75 \times \text{kg}) + (5,003 \times \text{cm}) - (6,775 \times \text{vek}) = \text{BEE} (7)[23]$$

$$\text{Ženy: } 655,1 + (9,563 \times \text{kg}) + (1,850 \times \text{cm}) - (4,676 \times \text{vek}) = \text{BEE} (8)[23]$$

Pokojový energetický výdaj (Resting Energy Expenditure) je termín, ktorý popisuje počet kalórií, ktoré človek spáli za deň bez namáhavej činnosti. Určenie tejto hodnoty môže dopomôcť človeku zistiť, koľko kalórií môže v bežný deň spotrebovať bez prírastku alebo úbytku na hmotnosti. [23][24]

Aktívny energetický výdaj (Active Energy Expenditure) je termín, ktorý označuje energetický výdaj pri záťaži. [23][24]

Respiračný kvocient (RQ) je pomer medzi objemom vytvoreného CO_2 v organizme a objemom spotrebovaného O_2 za jednotku času pri ustálenom stave. Malo by sa rozlišovať medzi RQ a pomerom respiračnej výmeny (R), čo je pomer CO_2 a O_2 v akomkoľvek časovom úseku. R ovplyvňujú aj iné faktory ako metabolizmus. RQ a R môžeme vypočítať pre reakcie prebiehajúce mimo telo, pre jednotlivé orgány a tkanivá, ale aj pre celý organizmus. RQ sacharidov je 1,00 a tukov asi 0,70 [1][13].



Určenie RQ proteínov v tele je zložitý proces, ale priemerná hodnota, ktorá bola vypočítaná, činí 0,82. Z hodnoty RQ a z množstva dusíka vylúčeného močom môžeme usúdiť na približné množstvá oxidovaných sacharidov, proteínov a tukov. RQ a R pre celý organizmus sa líšia za rôznych podmienok. Napríklad pri hyperventilácii hodnota R stúpa, pretože je vydychovaný CO_2 . Pri intenzívnej fyzickej námahe môže R dosiahnuť hodnoty 2,00, pretože sa vydychuje CO_2 a kyselina mliečna vznikajúca pri anaeróbnej glykolýze sa mení na CO_2 . Po skončení námahy môže hodnota R na chvíľu klesnúť na 0,50 alebo ešte nižšie. Pri metabolickej acidóze hodnota R stúpa, pretože respiračná kompenzácia acidózy zvyšuje vydychované množstvo CO_2 . Pri ťažkej acidóze môže byť hodnota R vyššia než 1,00. Pri metabolickej alkalóze hodnota R klesá [1][7][13][15].

Spotreba O_2 a výdaj CO_2 orgánom za jednotku času sa dá v rovnovážnom stave vypočítať vynásobením krvného prietoku týmto orgánom arteriovenóznym rozdielom koncentrácií O_2 a CO_2 . Potom môžeme vypočítať RQ. Hodnoty RQ v jednotlivých orgánoch významne charakterizujú metabolické procesy, ktoré sa v nich odohrávajú [1][7][13].

Množstvo energie uvoľnenej v organizme závisí od druhu oxidovaných látok, resp. od ich vzájomného pomeru. Tento vzťah vyjadruje respiračný kvocient (RQ). Je to pomer medzi objemom CO_2 (VO_2) vytvoreného v organizme a objemom spotrebovaného O_2 (VCO_2) za jednotku času pri ustálenom stave [1][7][13]:

$$RQ = \frac{V_{\text{CO}_2}}{V_{\text{O}_2}} \text{ (11) [12].}$$

3.1.3.3 Utilizácia substrátov

Podiel látok sacharidovej povahy na látkovom zložení organizmu je v porovnaní s proteínmi a tukmi malý. V organizme existujú látky sacharidového typu, ktoré označujeme ako rýchlu energetickú rezervu. Sú to glykogén a glukóza [5][9][36].

Glykogén (živočíšny škrob) je hlavným sacharidom živočíšnej bunky. Vyskytuje sa prakticky v každej bunke, avšak iba v pečenejých a svalových bunkách vo väčšom množstve. V pečeni (za fyziologických podmienok) tvoria asi 2-4 % a toto množstvo, ak je mobilizované (glykogenolýza), postačí pokryť energetické potreby organizmu asi na 18-20 hodín. V priebehu hladovania alebo fyzického vyčerpania klesá hladina pečenejého glykogénu pod 1 %. Kostrový sval obsahuje tak isto glykogén, v koncentrácii asi 0,4 – 0,6 %, ale v porovnaní s pečenejým slúži iba ako lokálny pohotovostný zdroj energie. Celková rezerva glykogénu u zdravého človeka činí asi 300g. Glykogén je pre svoju vysokú molekulárnu hmotnosť veľmi vhodnou rezervnou látkou, pretože ani pri vyšších koncentráciách neohrozí bunku hypertóniou, ako by tomu bolo v prípade glukózy. Pečenejový glykogén vzniká jednak z glukózy dopravovanej portálnym obehom, alebo z glukózy, ktorá vzniká tzv. glukoneogenezou (tj. z rôznych necukrových látok, eventuálne z kyseliny mliečnej). Svalový

glykogén je vytváraný ale vytváraný výhradne z glukózy privádzanej krvou. Z energetických substrátov cirkulujúcich v krvi (mastné kyseliny, pyruvát, eventuálne kyselina mliečna, glukoplastické aminokyseliny) tvorí glukóza ich najpodstatnejšiu zložku. Jej koncentrácia na lačno v krvi je 3,3 – 6,1 mmol/l. Steny kapilár sú pre glukózu voľne priestupné. Samotná koncentrácia glukózy v krvi (glykémia) je výslednicou medzi príjmom glukózy a glukoneogenezou na jednej strane a medzi jej neustálou konzumáciou bunkami celého tela na strane druhej. Tieto procesy sú prísne regulované a preto kolísanie glykémie je možné len v určitých limitoch. Stav glykémie je registrovaný glukoreceptormi umiestnených v hypotalame (centrálnej) a jednak na periférii (a. femoralis, a. carotis int. atď.). Prostredníctvom glukózy je do značnej miery ovplyvňovaný a regulovaný metabolizmus ako celok. Jediným hypoglykemizujúcim faktorom (hormónom) je inzulín. Hyperglykemizujúce hormóny sú: glukagón, glukokortikoidy, adrenalin, somatotropný hormón a nepriamo tyroxín [5][9][36].

Lipidy sú veľmi rôznorodé látky s pestrým fyziologickým a metabolickým významom. V zmiešanej potrave prijímame približne 20-30 % tukov veľmi rôznej povahy. Lipidy majú u väčšiny cicavcov význam ako najdôležitejšia energetická rezerva a pre svoju zlú tepelnú vodivosť majú významnú termoregulačnú funkciu [5][9][36].

Lipogenéza a lipolýza sú síce protichodné procesy, ktoré v skutočnosti v organizme prebiehajú paralelne a preto hovoríme skôr o prevahe jedného procesu nad druhým. Lipolýza predstavuje dej, v ktorom sú predvšetkým rezervné tuky v adipocytoch hydrolyzované hormonsenzitívnou lipázou, aktivovanou prostredníctvom cAMP. Pritom dochádza k uvoľneniu mastných kyselín, ktoré sú vo forme cirkulujúcich neesterifikovaných mastných kyselín k dispozícii tkanivám. Aktivácia tejto tkanivovej lipázy sa deje fosforyláciou za účasti proteín kinázy, stimulované hormóny (prostredníctvom cAMP). Pri dobrom nutričnom stave je hladina nenasýtených mastných kyselín v plazme nízka, pri nutričnej deprivácii naopak stúpa. Glukokortikoidy (ACTH), somatotropný hormón, glukagón a predovšetkým katecholaminy (noradrenalin) lipázu výrazne stimulujú, inzulín jej aktivitu tlmí [5][9][36].

Pre lipogenézu je potrebný redukovaný NADP (teda NADPH) a súčasne látka zvaná karnitín. Je to ubikvitná látka s pomerne vysokou koncentráciou napr. v srdečnom svalu. Vieme, že v cytosole (extramitochondriálne) prebieha syntéza mastných kyselín, zatiaľ čo intramitochondriálne naopak ich oxidácia. K lipogenézii dochádza vždy, keď ponuka energie v substrátoch prekročí ich skutočnú potrebu a je do tukového tkaniva vlastne „skladovaná“. Karnitín vykazuje rovnako protektívne účinky voči pôsobeniu kyslíkových radikálov. Mimo hormosenzitivnú lipázu existuje v organizme ešte lipoproteínová lipáza [5][9][36].

Bielkoviny tvoria základ štruktúry živej hmoty. Ich základnou jednotkou sú aminokyseliny, ktoré sa navzájom spájajú peptidickými väzbami (CO-NH). Rozštiepením peptidovej väzby sa uvoľňuje približne 15 kJ energie (tepla). V proteínoch ľudského organizmu je zastúpených vcelku 20 aminokyselín a to výhradne vo forme l-isomérov. Potreba aminokyselín pre nepretržitú obnovu tkanív, erytrocytov atď. sa pokrýva predovšetkým potravinami. Rada aminokyselín je v organizme (predovšetkým v pečeni) syntetizovaná. Aminokyseliny, ktoré organizmus nevie syntetizovať, nazývame esenciálne a musia byť obsiahnuté v potravinách. Na rozdiel od sacharidov a hlavne tukov neexistuje v ľudskom organizme rezerva proteínov. Pri nedostatku bielkovín v potrave či pri celkovom chronickom hladovaní organizmus obmedzuje na jednej strane proteosyntetické aktivity, na strane druhej dochádza k úbytku niektorých orgánov, kde prebieha rovnako aj proteolýza. Len tak je potom zaistená ponuka aminokyselín pre orgány nevyhnutné k životu [5][9][36].

Riadenie proteínového metabolizmu je veľmi zložitý proces. V zásade sa proteosyntéza určuje genetickým kódom, avšak tento základný vzorec môže byť v priebehu individuálneho vývoja vo svojej realizácii rôzne modifikovaný (epigenetické faktory). Proteosyntéza a jej regulácia je proces mnohoetážový. Podmienkou je dostatočný prisun aminokyselín pri súčasnom dostatku nenahraditeľnej energie. Zvýšená ponuka aminokyselín vedie ku zvýšeniu inzulínemii a ku zvýšenej proteosyntéze, ktorá ale podľa ponuky aminokyselín – môže byť (ale taktiež nemusí) kompletná. Neurohumorálne vplyvy sa uskutočňujú prostredníctvom rady hormónov. Somatotropný hormón má preukázateľne proteoanabolický vplyv, ktorý sa realizuje avšak prostredníctvom somatomedínu vznikajúceho v pečeni. Mužské pohlavné hormóny vykazujú zreteľný proteoanabolický vplyv (zneužívanie týchto hormónov respektíve analogických látok v dopingových aférach). Tyroxín za fyziologických podmienok a vo fyziologických koncentráciách je hlavne v priebehu vývoja predpokladom riadnej diferenciácie tkanív a štruktúr (hlavne mozgu) a tým spojených proteosyntetických procesov [5][9][36].

3.1.4 Zmeny ventilácie v priebehu fyzickej záťaže

Pri telesnej námahe je množstvo O_2 , ktoré vstupuje v pľúcach do krvi zvýšené, pretože jednak množstvo O_2 dodané do každej jednotky objemu krvi, tak prietok krvi pľúcami sú zvýšené. Parciálny tlak O_2 v krvi pritekajúcej do pľúcnych kapilár klesá zo 40 až na 25 mm Hg aj menej, alveolokapilárny gradient pre O_2 je teda zvýšený a do krvi vstupuje viac kyslíka. Prietok krvi za minútu sa zvyšuje z hodnoty 5,5 l/min na hodnoty dosahujúce 20- 35 l/min. Celkové množstvo kyslíka prechádzajúce v pľúcach do krvi sa teda zvyšuje z 250 ml/min v pokoji až k hodnotám 4000 ml/min. Množstvo CO_2 , odstraňované z každej jednotky krvi sa tiež zväčší a zväčší sa aj výdaj CO_2 z hodnôt okolo 200 ml/min k hodnotám 8000 ml/min. Až po určité maximum je zvýšenie spotreby kyslíka úmerné veľkosti telesnej záťaže. Nad týmto maximom sa už spotreba kyslíka nezväčšuje, ale stúpa hladina laktátu v krvi. Laktát prichádza zo svalov, v ktorých aeróbna resyntéza zásob energie nie je schopná držať krok s jej rýchlym spotrebúvaním a vzniká kyslíkový dlh [1][5][27][33].

Hneď s počiatkom telesnej námahy je viditeľný náhly vzostup pľúcnej ventilácie. Ten je po malej prestávke nasledovaný ďalším, pozvoľnejším vzostupom. Pri stredne veľkej telesnej námahe sa ventilácia zväčšuje predovšetkým prehĺbením dýchania, pri usilovnejšej telesnej práci sa zvyšuje aj frekvencia dýchania. Keď cvičenie skončí, je zrejmy náhly pokles ventilácie, po ktorom nasleduje po krátkej pauze pozvoľnejší pokles ku pokojovým hodnotám [1][5][27][33].

Zvýšenie minútovej ventilácie pri telesnej práci nastáva na základe:

- Paralelnej inervácii generátoru rytmu dýchania (kolaterály korových eferentných motorických vlákien)
- Informácií z proprioreceptorov pohybového aparátu [1][5][13][27][33]

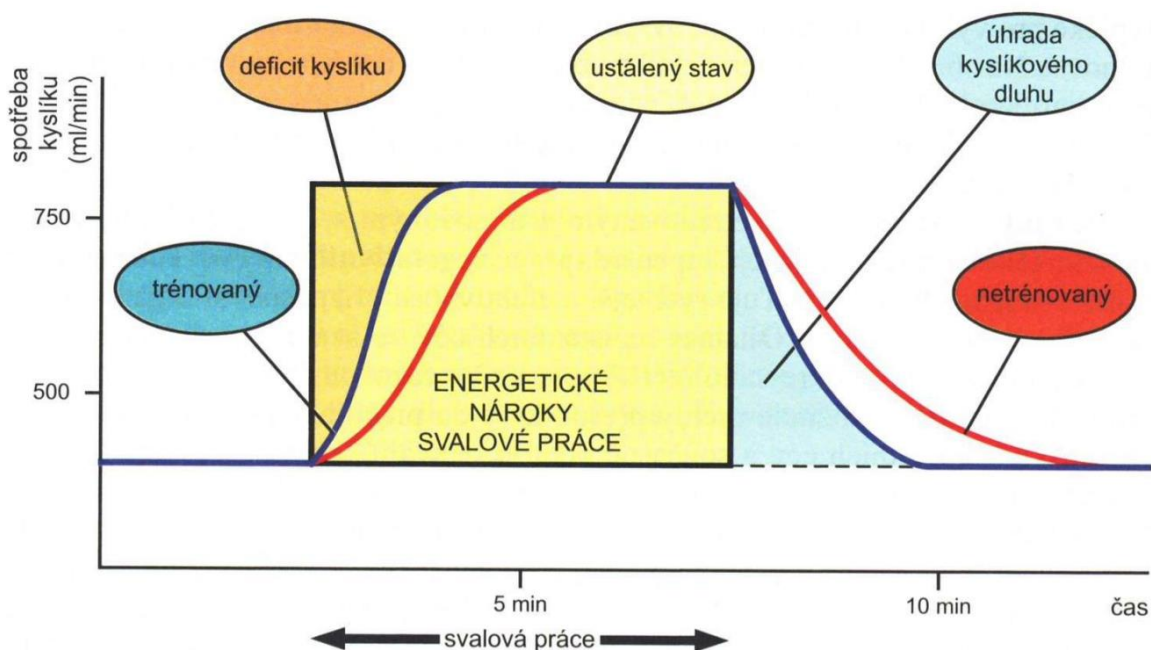
3.1.5 Zmeny fyziologických funkcií u trénovaných osôb

Rada obehových aj respiračných regulačných mechanizmov musí pracovať v dokonalej súhre, ak má byť pri telesnej námahe pokrytá potreba O_2 v aktívnych tkanivách a z tela odstraňované viac CO_2 a tepla. Zmeny cirkulácie spôsobujú zvýšenie prietoku krvi svalmi pri zachovaní dostatočnej perfúzie ostatných tkanív. Zvýšená extrakcia kyslíka z krvi v pracujúcich svaloch a zvýšenie ventilácie zvyšuje dodávku O_2 , odvádza časť nadbytočného tepla a umožňuje vylúčiť nadbytočný CO_2 [5][10][12][15].

Najznámejšími znakmi trénovanosti sú pokojová bradykardia (zníženie pulznej frekvencie), hypotenzia (hlavne systolický tlak je nápadne nižší) a taktiež zmeny elektrických

a mechanických vlastností myokardu. Tréning má vedľa už zmieneného negatívne chronotropného efektu taktiež účinok negatívne dromotropný (spomalenie sieňokomorového vedenia) a pozitívne inotropný (zvýšenie sily srdečnej kontrakcie). Tieto príznaky sú jednak dôsledkom morfológických zmien (napr. dilatácia a hypertrofia všetkých srdečných oddielov) a jednak dôsledkom funkčnej adaptácie, podmienené mimo iné zvýšeným tonusom parasympatika u trénovaných jedincov [5][10][12][15].

Rozdiely medzi jedincom netrénovaným a trénovaným (najmä športovcov vytrvalostného typu) sa prejavujú už na začiatku telesnej záťaže. Dilatácia rezistentných ciev vo svaloch a vazokonstrikcia v kapacitnej (žilnej) časti krvného riečiska súčasne s vazokonstrikciou v splachnickej cirkulácii a v koži umožňuje rýchly presun krvi do pracujúcich svalových skupín. Konstrikcia kapacitných ciev a súčasne konstrikcia svalov spoločne zvyšujú venózy návrat, a tým podporujú rýchle zvyšovanie minútového srdečného výdaja. Všetky tieto reakcie prebiehajú u trénovaného jedinca podstatne rýchlejšie než u netrénovaného. Dôsledkom je podstatne rýchlejší vzostup spotreby kyslíka na začiatku práce pri tej istej aktivite. Preto je u trénovaného jedinca aj kyslíkový deficit na začiatku práce menší a to spôsobuje, že aj kyslíkový dlh po skončení práce je nižší. Druhým dôležitým dôsledkom je rýchlejšie dosiahnutie ustáleného stavu u trénovaného jedinca a nižšia produkcia laktátu. U trénovaných jedincov prebieha tréning aj na úrovni motorického systému, ktorý vedie k vytvoreniu pohybových návykov [5][10][12][15].



Obrázok 9 : Spotreba energie v priebehu svalového výkonu [10]

3.2 Program Matlab

MATLAB je programové prostredie (programovací jazyk) pre vedeckotechnické numerické výpočty, modelovanie, návrhy algoritmov, počítačových simulácií, analýzu a prezentáciu dát, merania a spracovania signálov, návrhy riadiacich a komunikačných systémov. Nadstavbou Matlabu je Simulink – program pre simuláciu a modelovanie dynamických systémov, ktorý využíva algoritmy Matlabu pre numerické riešenia predovšetkým nelineárnych diferenciálnych rovníc [35].

Názov MATLAB vznikol skrátením slov MATrix LABoratory, čo zodpovedá skutočnosti, že kľúčovou dátovou štruktúrou pri výpočtoch v MATLABe sú matice. Vlastný programovací jazyk vychádza z jazyka Fortran [35].

4. Časť praktická

4.1 Cieľ

Cieľom práce bolo overiť možnosti rýchleho vyhodnocovania rozdielov respiračných a metabolických parametrov, získaných meraním na systéme PowerCube - Ergo (Ganshorn Medizin Electronic GmbH - Nemecko) použitím programu MATLAB (The MathWorks Inc, USA) u nami zvolených dvoch skupín : športovcov a nešportovcov.

4.2 Metodika

Výstup z ergospirometrického merania pomocou systému PowerCube obsahuje mnoho veličín, avšak pre základné vyhodnotenie stavu fyzickej kondície nie je potrebné komplexná analýza všetky týchto veličín.

Zjednodušenie ergospirometrického merania môžeme chápať ako výber len úzkeho spektra vyhodnocovaných veličín a následné overenie, či zvolená veličina dostatočne znázorňuje rozdiel vo fyzickej kondícii medzi fyziologickými hodnotami zdravej populácie a hodnotami, ktoré nezodpovedajú norme. Fyziologické hodnoty by nám mala charakterizovať skupinu zdravých mladých mužov, vo veku 20-22 rokov, pravidelne podstupujúcich fyzickú záťaž. Hodnoty odlišné od fyziologických by nám mala poskytovať skupina mladých mužov podobného veku, avšak žijúcich pohodlný život dnešnej doby, kde ku pravidelnému zdokonaľovaniu fyzickej kondície nedochádza.

Pre popísanie stavu fyzickej kondície sa budeme zameriavať na veličiny hodnotiace respiračnú odozvu organizmu na záťaž. Samotné záznamy o príjme O_2 a výdaji CO_2 v l/min nestačia a preto tieto hodnoty vzťahujeme k ďalším parametrom. Dôležitý faktor pri vyhodnocovaní môže zohrávať váha a preto príjem O_2 a výdaj CO_2 vzťahujeme aj na jednotku hmotnosti, čo nám podá špecifickejšie informácie o jedincoch z danej skupiny. Pri hodnotení fyzickej kondície je dôležité brať do úvahy aj odozvu kardiovaskulárneho systému na záťaž, čo nám poskytuje veličina – O_2 pulse, ktorá obsahuje informáciu o príjme O_2 vzťahujúcu sa na pulznú frekvenciu, jednotkou je ml/tep. Pre hodnotenie metabolickej odozvy budeme uvažovať veličinu celkového energetického výdaja a tak isto jej bližšiu špecifikáciu vo forme energetického výdaja iba sacharidov a iba tukov. Podrobnosti o skúmaných veličinách, ich popis a jednotka sú znázornené v tabuľke 2.

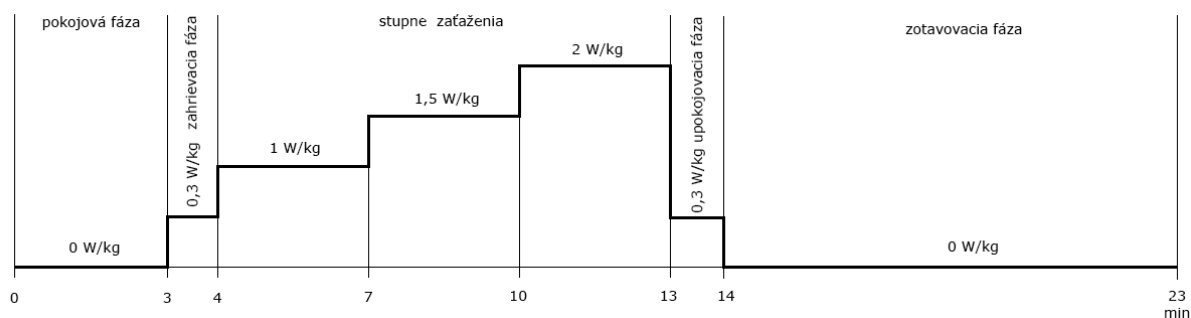
Označenie veličiny vo výstupnom dokumente .xls	Jednotka	Popis veličiny
VO ₂	[l/min]	Príjem kyslíka
VO ₂ /kg	[ml/kg/min]	Príjem kyslíka v závislosti na hmotnosti
VCO ₂	[l/min]	Výdaj oxidu uhličitého
VCO ₂ /kg	[ml/kg/min]	Výdaj oxidu uhličitého v závislosti na hmotnosti
RER	bezrozmerná	Pomer objemu vytvoreného CO ₂ a objemu spotrebovaného O ₂ za jednotku času a ustáleného stavu
O ₂ pulse	[ml/beat]	Príjem kyslíka za tep - (VO ₂ /Tepová frekvencia)
EE	[kcal/h]	Energetický výdaj
CHO	[kcal/h]	Energetický výdaj - sacharidy
Tuk	[kcal/h]	Energetický výdaj - tuky

Tabuľka 2 : Označenie a popis meraných a analyzovaných veličín [23]

4.2.1 Plán merania

Prístroj PowerCube komunikuje so softvéromi „SDS – 104“ a „LF8 32-bit for Windows.“ K uskutočneniu spirometrického merania potrebujeme iba program LF8. Pri ergospirometrickom meraní využívame aj program SDS-104 kvôli nastaveniu stupňov záťaže na ergometri a vytvoreniu karty pacienta.

Pre vyšetrenie nám bude slúžiť ergometer vo forme bicykla. Protokol merania pozostáva zo siedmych fáz. Začíname pokojovou fázou trvajúcou 3 minúty, počas ktorej pacient v pokoji sedí na ergometri, nešliape a záťaž je 0 W/kg. Táto fáza slúži na to, aby sa organizmus ustálil a meranie sme začali tak povediac „od nuly.“ Nasledujúca fáza dĺžky 1 minúty slúži na zahriatie organizmu so záťažou 0,3 W/kg a jeho pripravenie na ďalšie stupne záťaže. V ďalších troch fázach, každá dĺžky 3 minúty, sa záťaž postupne zvyšuje, začína na 1 W/kg pokračuje na 1,5 W/kg a končí 2W/kg. Predposledná 1 minútová fáza slúži najmä k zotaveniu organizmu, záťaž je 0,3 W/kg. Posledný stupeň trvá 9 minút, pacient už nešliape, ale leží v pokoji na lôžku a my môžeme sledovať rýchlosť postupného zotavenia organizmu po záťaži. Schému protokolu môžeme vidieť na obrázku č. 10.



Obrázok 10 : Schéma protokolu ergospirometrického merania

V programe SDS-104 vytvoríme kartu pacienta. Nasadíme ergospiometrickú masku a nasleduje spirometrické meranie v pokoji.

Ergometrický protokol

Výběr protokolu: **DEFAULT**

Protokol č.: **DEFAULT**

Popis:

Nastavení z karty Protokol nebude použito. Je zatřeno použití stupňů. Bude použito nastavení z karty Stupně.

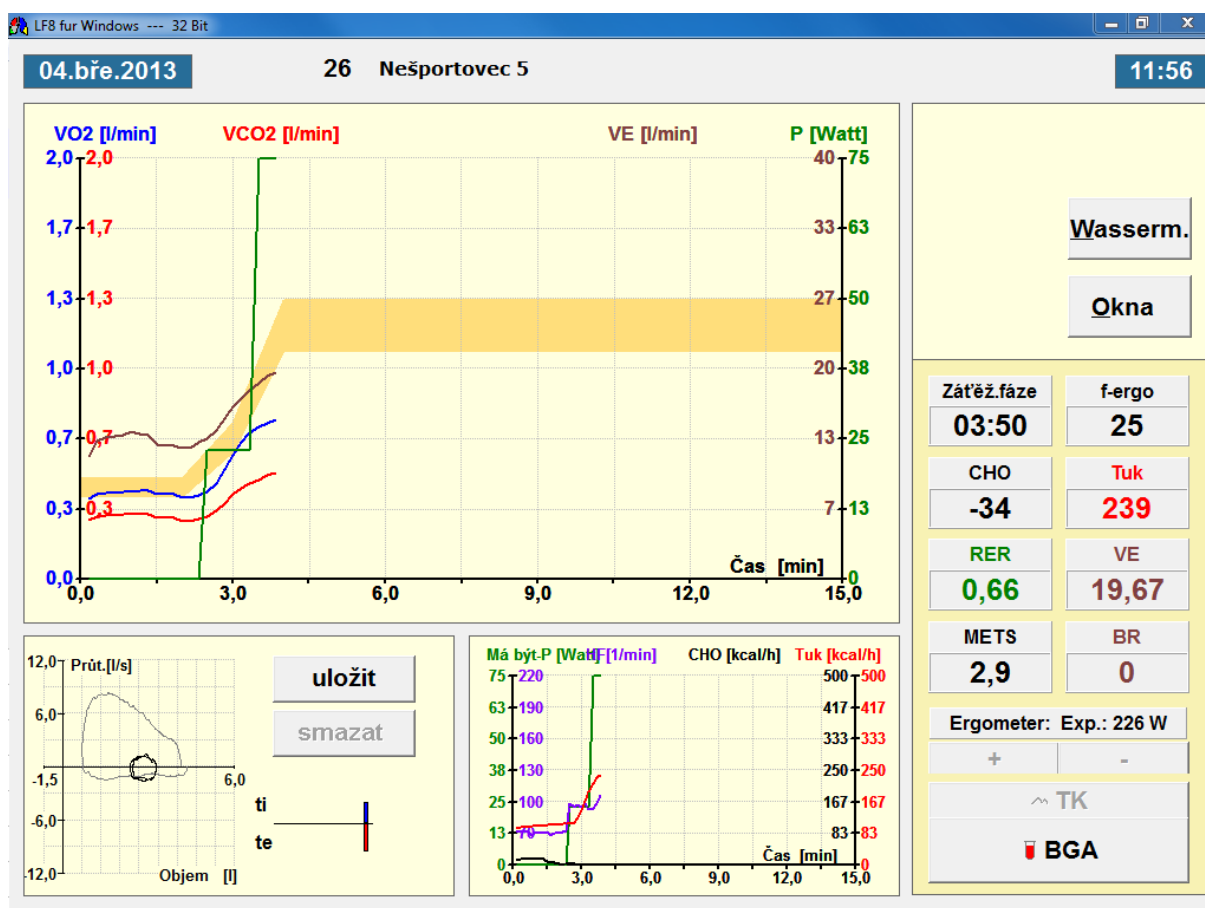
Protokol | Stupně |

Stupeň	Délka	Zátěž
1	03:00	0
2	01:00	21
3	03:00	70
4	03:00	105
5	03:00	140
6	01:00	21
7	09:00	0

Generuj max krok:

Obrázok 11 : Nastavenie stupňov zaťaženia v programe SDS-104

V programe SDS-104 navolíme stupne záťaže podľa protokolu, pripevníme na pacienta elektródy a spustíme meranie.



Obrázok 12 : Priebeh ergospirometrického merania v programe LF8

4.2.2 Charakteristika športovcov, nešportovcov

Kvôli homogenite a štatistickej významnosti sa meranie prevádza na skupine 20 mužov vo veku 20-22 rokov. Skupina je rozdelená na 2 časti po 10 ľudí. U troch športovcov a jedného nešportovca aj po opakovanom meraní nedošlo k zaznamenaniu hodnôt u všetkých potrebných veličín, prípadne došlo ku chybe v meraní a preto sme boli nútení ich z ďalšieho vyhodnocovania vyradiť. Jedna skupina pozostáva z nepravidelne športujúcich vysokoškolských študentov, žijúcich bežným životom mladých ľudí s rôznymi neduhmi tejto doby ako napríklad nedostatok pohybu. Druhá skupina pozostáva z orientačných bežcov, pravidelne systematicky športujúcich. Ako ukazovateľ ich výkonnosti môžeme považovať, že sa venujú orientačnému behu od žiackeho veku a momentálne súťažia v kategórii dospelých. Každý z nich získal v priebehu svojej kariéry medailu z MČR, 7 z nich patrilo alebo momentálne patrí do reprezentácie ČR v orientačnom behu a štyria sú medailisti z Majstrovstiev Európy dorastu alebo Majstrovstiev sveta juniorov v orientačnom behu.

Meno	Vek	výška [cm]	váha [kg]	BMI
Športovec 1	20	185	73	21,3
Športovec 2	22	175	68	22,2
Športovec 3	21	184	77	22,7
Športovec 4	20	190	74	20,5
Športovec 5	22	198	73	18,6
Športovec 6	21	176	64	20,7
Športovec 7	22	185	70	20,5
Priemer	21,1	184,7	71,3	20,9
Meno	Vek	výška [cm]	váha [kg]	BMI
Nešportovec 1	20	180	80	24,7
Nešportovec 2	22	191	87	23,8
Nešportovec 3	21	184	79	23,3
Nešportovec 4	20	187	80	22,9
Nešportovec 5	21	185	89	26
Nešportovec 6	22	194	70	18,6
Nešportovec 7	22	172	69	23,3
Nešportovec 8	22	171	65	22,2
Nešportovec 9	22	185	88	25,7
Priemer	21,3	183,2	78,6	23,4

Tabuľka 3 : Vek, výška, váha a BMI meraných jedincov

Meno	Aktivita	Úroveň	Koľkokrát týždenne	Počet hodín
Športovec 1	orientačný beh	závodne	7x	10
Športovec 2	orientačný beh	závodne	10x	10-12
Športovec 3	orientačný beh, lyže, bicykel, futbal	závodne	4-5x	8
Športovec 4	orientačný beh	závodne	5x	6
Športovec 5	orientačný beh	závodne	3-10x	4-12
Športovec 6	orientačný beh, lyže, bicykel, loptové hry	závodne	6x	8
Športovec 7	orientačný beh, bežecké posilňovanie	závodne	3-5x	6-9

Tabuľka 4 : Popis a frekvencia aktivít u športovcov

Meno	Aktivita	Úroveň	Koľkokrát týždenne	Počet hodín
Nešportovec 1	futbal	rekreačne	1x	1,5
Nešportovec 2	posilňovanie, beh, tenis, bicykel	rekreačne	3-4x	5-6
Nešportovec 3	žiadna	-	-	-
Nešportovec 4	futbal, badminton	rekreačne	4x	6-7
Nešportovec 5	žiadna	-	-	-
Nešportovec 6	žiadna	-	-	-
Nešportovec 7	plávanie	rekreačne	0,5	1
Nešportovec 8	žiadna	-	-	-
Nešportovec 9	tenis	rekreačne	1	2

Tabuľka 5 : Popis a frekvencia aktivít u nešportovcov

4.2.3 Popis systému PowerCube

PowerCube-Ergo od nemeckej firmy Ganshorn Medizin Electronic je určený pre medicínske použitie vyžadujúce neinvazívne meranie kardiopulmonárnej odozvy na záťaž alebo meranie energetického výdaja využitím nepriamej kalorimetrie.

PowerCube-Ergo je softvérovo riadený, kardio - pulmonárny záťažový systém prevádzajúci kontinuálne meranie prietoku, spotreby kyslíka, produkcie oxidu uhličitého s možnosťou merania srdečného tepu. Meria odozvu ľudského organizmu na stúpajúcu záťaž s dôrazom na výmenu plynov a ventilačné parametre. Výsledky a priebeh testu je zobrazovaný pomocou PC a po skončení testu môže byť vytlačený tlačiarňou pripojenou k PC.

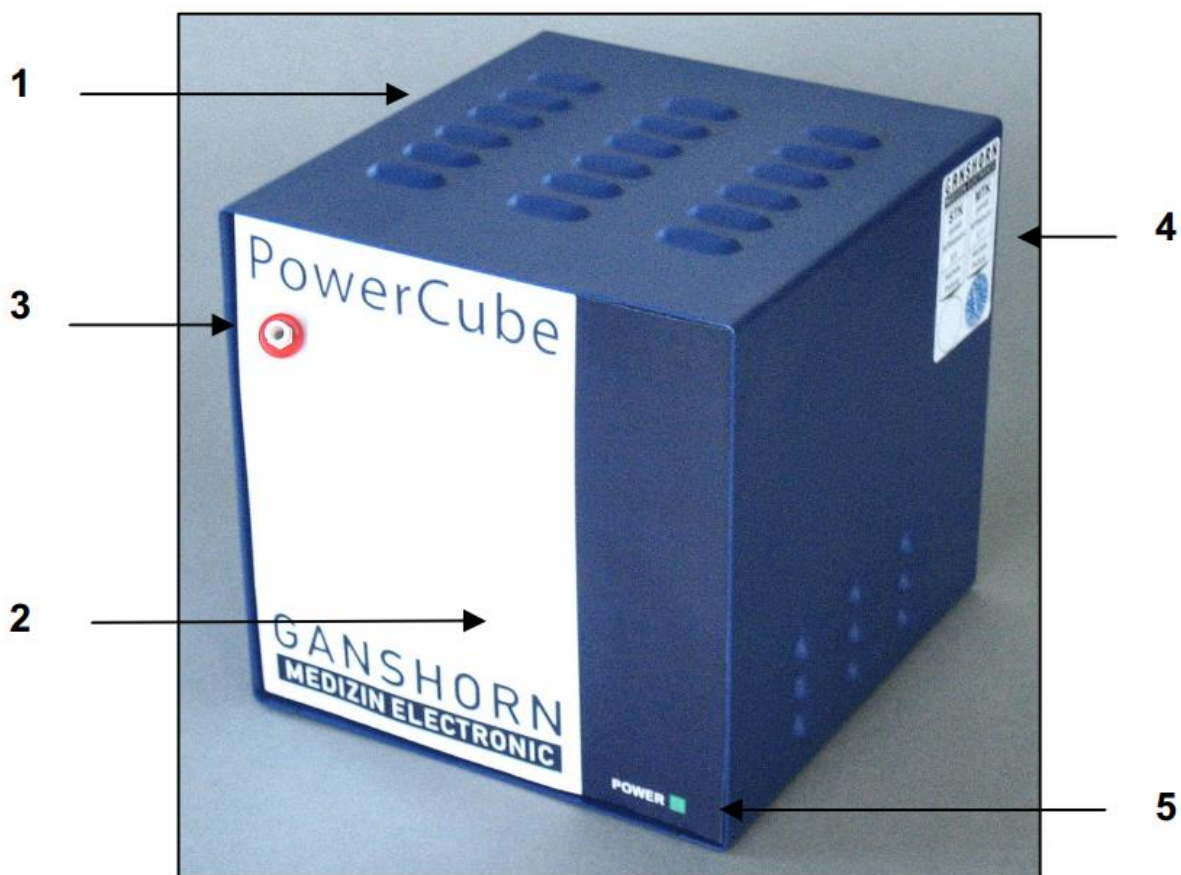
4.2.4 Technické špecifikácie

Všeobecné	
Softvér	LF8 32 bit pre Windows
Klasifikácia	
Klasifikácia zariadenia	Aktívny medicínsky produkt, trieda IIa
Aplikačná časť	Typ BF
Korekcie	
F/V spracovanie	ERS alebo ATS
Inspiračný objem kvantitatively auto korekcie	BTPS (enviromentálny modul)
Objem plynov	STPD (enviromentálny modul)
Počítačové rozhranie	
Prenos signálu	4 kV optoisolátor RS232-prostredie, 57 600 Baud

Tabuľka 6 začiatok : Technické špecifikácie prístroja PowerCube [23]

Meranie prietoku	
Princíp merania	Pneumotachograf s variabilným ústím
Merací rozsah	0 až ± 18 l/s
Presnosť	$< \pm 3\%$ alebo 50 ml/s (platí vyššia hodnota), PEF: $\pm 5\%$ alebo 150 ml (platí vyššia hodnota) Splňuje ERS/ATS štandardy
Rozlíšenie	10 ml/s
Meranie objemu	Digitálna integrácia
Rozsah	Nelimitovaný, grafické zobrazenie 0 až 10 l
Rozlíšenie	10 ml
O₂ meranie	
Princíp merania	Solid state oxygen SSO (zirconium)
Merací rozsah	10 až 21% O ₂
Rozlíšenie	0.01 % O ₂
Doba nábehu	< 100 ms
Presnosť	± 0.1 % O ₂
CO₂ meranie	
Princíp merania	Ultrazvuk
Merací rozsah	0 až 15 % CO ₂
Rozlíšenie	0.01 % CO ₂
Doba nábehu	< 100 ms
Presnosť	± 0.1 % CO ₂
Prevádzkové podmienky	
Teplota prostredia	+15 až +30 °C
Relatívna vlhkosť	30 až 80 % (bez kondenzácie)
Atmosférický tlak	700 až 1050 hPa
Maximálny zahrievací čas	30 min
Maximálny teplotný gradient	3°C / hodinu
Rozmery (V x Š x H)	
PowerCube-Ergo	približne 15x 15x 15 cm
Hmotnosť	
PowerCube-Ergo	približne 2,4 kg

Tabuľka 6 pokračovanie : Technické špecifikácie prístroja PowerCube [23]



Obrázok 13 : Prístroj PowerCube – pohľad spredu [23]

Pozícia	Popis
1	skrinka
2	predný panel
3	objímka pre pripojenie hadičky na kalibráciu plynov
4	identifikačný štítok zariadenia GANSORN (ukazuje dátum ďalšej technickej inšpekcie)
5	Indikátor napájania

Tabuľka 7 : Popis prístroja PowerCube na obrázku č. 13 [23]



Obrázok 14 : Prístroj PowerCube – pohľad zozadu (popis konektorov) [23]

Pozícia	Popis	Funkcia
A	Napájanie	Vypínač
B	Pulz	Merací konektor pre pripojenie tlakovej manžety
C	SpO ₂	Merací konektor pre pripojenie jednotky pre meranie pulznej oxymetrie
D	RS232	Konektor pre prenos dát RS 232 medzi PowerCube a PC (opticky oddelený)
E	DC-IN	Napájací konektor DC - 48 V
F	Teplota	Merací konektor pre pripojenie teplotného senzoru

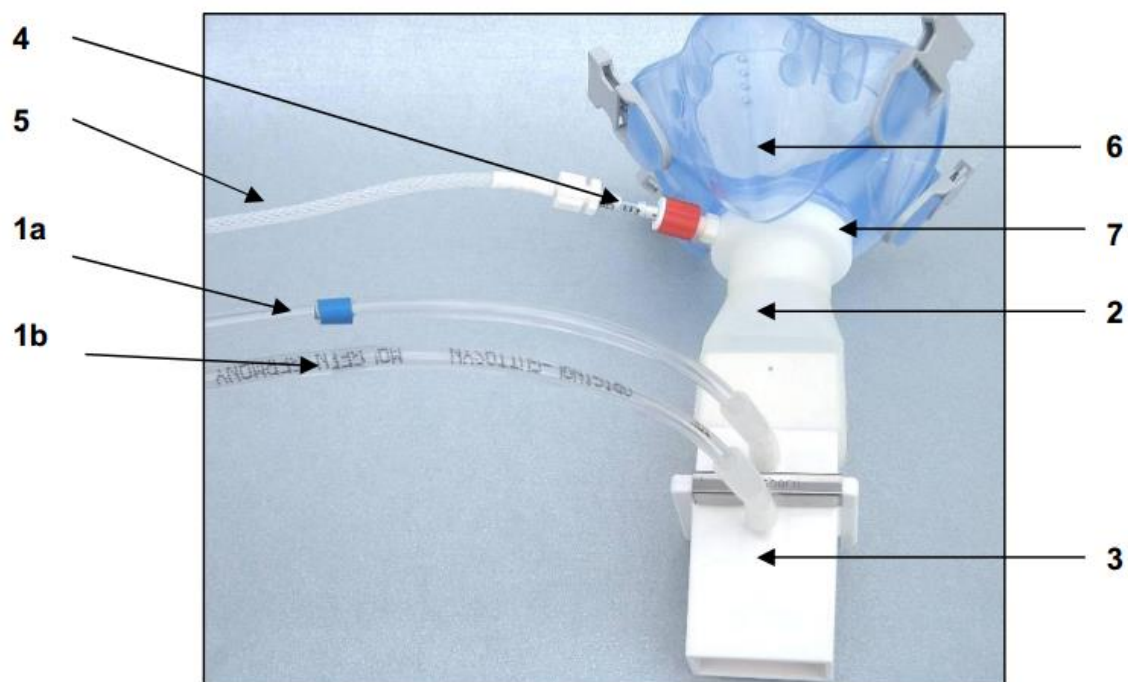
Tabuľka 8 : Popis konektorov prístroja PowerCube na obrázku č. 14 [23]



Obrázok 15 : Prístroj PowerCube – pohľad zozadu č. 2 (popis konektorov) [23]

Pozícia	Popis	Funkcia
1	Prietok - (modrá)	Konektor pre pripojenie pneumotachografu, strana pacienta
2	Prietok + (biela)	Konektor pre pripojenie pneumotachografu, strana prístroja
3	Merané plyny-vstup (červená)	Konektor pre pripojenie plynového analyzátora
4	Kalibračné plyny - vstup (žltá)	Konektor pre pripojenie manometra kalibračnej plynovej bomby
5	Kalibračné plyny - výstup (zelená)	Výstup kalibračných plynov z PowerCube - musí ostať otvorený
6	Výstup (biela)	Výstup plynov z meracích konektorov 1,2,3

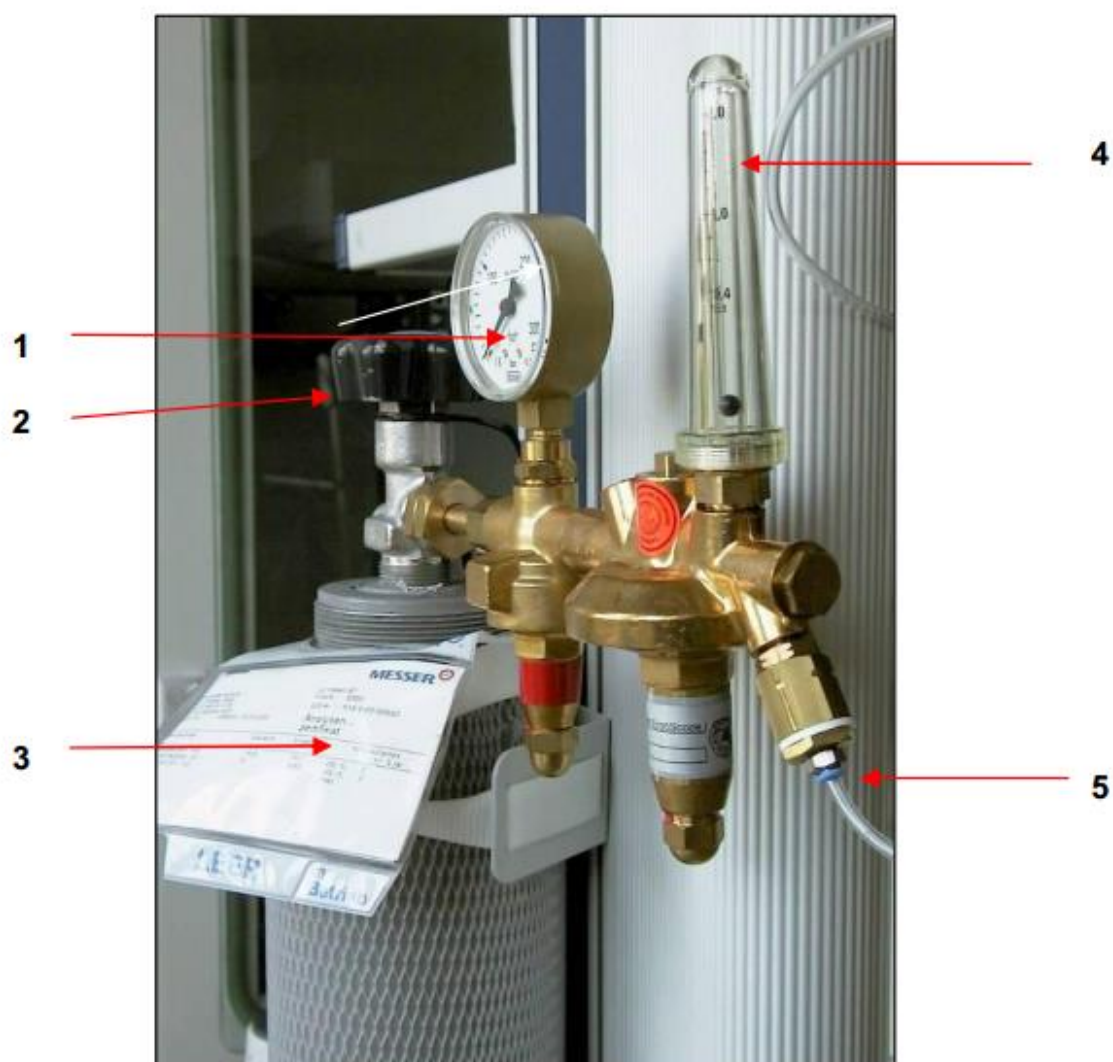
Tabuľka 9: Popis konektorov prístroja PowerCube na obrázku č. 15 [23]



Obrázok 16 : Ergospirometrická maska a penumotachograf [23]

Pozícia	Popis	Funkcia
1a	Prietoková hadička	Pripojenie ku konektoru prietok + (bez štítku)
1b	Prietoková hadička	Pripojenie ku konektoru Prietok - (modrý štítok-strana pacienta)
2	Silikónový adaptér	Pre pripojenie ergospirometrickej masky
3	Pneumotachograf	S pripojením
4	Ochranný adaptér	Ochrana hadičky pred zalomením
5	Hadička pre pripojenie k plynovému analyzátoru	Analýza plynov
6	Ergospirometrická maska	Pripevňuje sa na tvár pacienta
7	Adaptér ergospirometrickej masky	Slúži na pripojenie k silikónovému adaptéru

Tabuľka 10 : Popis pneumotachografu s pripojenou ergospirometrickou maskou na obrázku 16 [23]



Obrázok 17 : Plynová bomba používaná pri kalibrácii [23]

Pozícia	Popis	Funkcia
1	Indikátor tlaku	Ukazuje tlak plynu vo vnútri fľaše
2	Hlavný ventil plynovej fľaše	Uzavretie plynovej fľaše
3	Identifikačný štítok plynu	Ukazuje aktuálne zloženie plynu vo vnútri fľaše
4	Indikátor prietoku	Indikuje vonkajší prietok
5	Konektor pre pripojenie kalibrátora plynov	Pripája sa k objímke Kalibrácia-plynov-vstup (Obrázok 13 - pozícia 4)

Tabuľka 11 : Popis kalibračnej plynovej bomby na obrázku 17 [23]

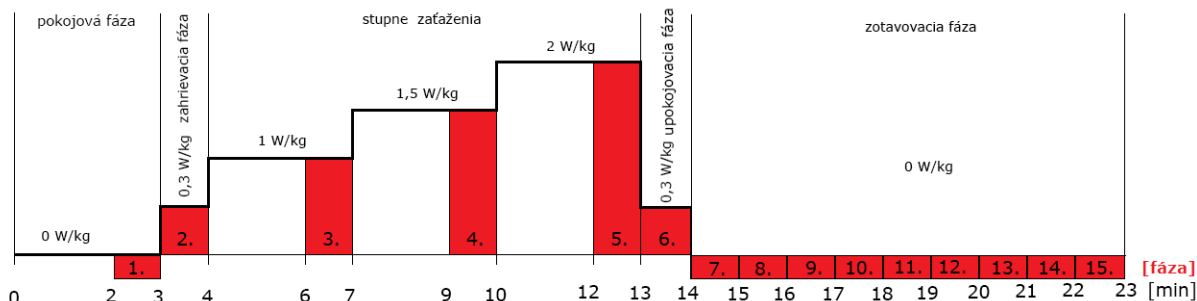
4.2.5 Spôsob získavania, prenosu a spracovaniu dát zo systému PowerCube do programu MATLAB

Výstupom spirometrického merania je obrázok vo formáte jpeg a dokument vo formáte PDF. Výstupom ergospirometrického merania je dokument vo formáte PDF, textový dokument formátu .txt a tabuľkový dokument vo formáte .xls. Na ďalšie spracovanie v Matlabe budeme využívať výstupy vo formáte .xls.

Vzhľadom na to, že sme sa rozhodli porovnávať rozdiely medzi jednotlivými fázami, tak pri fázach dlhších než 1 minúta načítavame iba dáta trvania poslednej minúty tejto fázy. Zvolili sme tak preto, aby telo dokázalo zareagovať na zmenu záťaže a my sme tak mohli adekvátne porovnať rozdiely v jednotlivých fázach. V prípade, že by sme analyzovali dáta z celého trvania merania, rozdiely v jednotlivých fázach by neboli až také významné, pretože by zahrňovali aj dáta, v ktorých by ešte iba dochádzalo k adaptácii fyziologických funkcií pacienta na zmenu záťaže a tým pádom by neodzrkadľovali reálnu odozvu organizmu na záťaž. Výnimkou je posledná zotavovacia fáza, z ktorej načítavame celý priebeh jej trvania a rozdelíme ho na jednotlivé fázy o dĺžke jednej minúty.

Týmto spôsobom vzniká 15 fáz, dlhých 1 minútu, pričom každá obsahuje 6 hodnôt (6 hodnôt, pretože vzorkovacia frekvencia je 10 sekúnd).

Grafické zobrazenie vybraných fáz môžeme vidieť na obrázku 18. Popis fáz a ich riadkovú a stĺpcovú lokalizáciu vo výstupných dokumentoch .xls môžeme vidieť na tabuľkách 12 a 13.



Obrázok 18 : Grafické zobrazenie dát vybraných pre analýzu (červenou farbou)

Číslo fázy	Popis fázy	Skutočný čas [minúta]	Lokalizácia v dokumente .xls [číslo riadku]	Lokalizácia v matici [číslo riadku]
1	Pokožová fáza 0W - posledná (3.) minúta	3.	68 - 83	9 - 14
2	Zahrievacia fáza 0,3 W/kg - celá (1 minúta)	4.	74 - 79	15 - 20
3	1. stupeň záťaže 1 W/kg - posledná (3.) minúta	7.	92 - 97	33 - 38
4	2. stupeň záťaže 1,5 W/kg - posledná (3.) minúta	10.	110 - 115	51 - 56
5	3. stupeň záťaže 2 W/kg - posledná (3.) minúta	13.	128 - 133	69 - 74
6	Upokojujúca fáza 0,3 W/kg - celá (1 minúta)	14.	134 - 139	75 - 80
7	Zotavovacia fáza 0W - 1.minúta	15.	140 - 145	81 - 86
8	Zotavovacia fáza 0W - 2.minúta	16.	146 - 151	87 - 92
9	Zotavovacia fáza 0W - 3.minúta	17.	152 - 157	93 - 98
10	Zotavovacia fáza 0W - 4.minúta	18.	158 - 163	99 - 104
11	Zotavovacia fáza 0W - 5.minúta	19.	164 - 169	105 - 110
12	Zotavovacia fáza 0W - 6.minúta	20.	170 - 175	111 - 116
13	Zotavovacia fáza 0W - 7.minúta	21.	176 - 181	117 - 122
14	Zotavovacia fáza 0W - 8.minúta	22.	182 - 187	123 - 128
15	Zotavovacia fáza 0W - 9.minúta	23.	188 - 193	129 - 134

Tabuľka 12 : Popis fáz a ich riadková lokalizácia v dokumente .xls a matici

Skratka veličiny	Lokalizácia v dokumente .xls [označenie stĺpca]	Lokalizácia v matici [číslo stĺpca]
VO ₂	B	1
VO ₂ /kg	C	2
RER	S	18
VO ₂ /kg	T	19
VCO ₂ /kg	U	20
O ₂ pulse	W	22
EE	AP	41
CHO	AS	44
Tuk	AT	45

Tabuľka 13: Popis fáz a ich stĺpcová lokalizácia v dokumente .xls a matici

Pomocou príkazu `xlsread` načítame najprv hodnoty všetkých parametrov z výstupných protokolov ergospirometrického merania a vytvoríme tak trojrozmernú maticu s názvom `Data_S` pre športovcov a `Data_N` pre nešportovcov, kde tretí rozmer matice udáva počet ľudí v skupine.

Z dát z premennej `Data_S` vytvoríme maticu `Hodnoty_S` a z premennej `Data_N` maticu `Hodnoty_N`. Novo vzniknuté matice sú trojrozmerné kde, rozmer `X` predstavuje počet osôb, rozmer `Y` počet fáz a rozmer `Z` počet veličín.

Ako základnú analýzu prevedieme pomocou funkcie `mean` výpočet priemernej hodnoty nami určenej veličiny u všetkých osôb zo skupiny v každej fáze a výsledky uložíme do premennej `Parametry_S_p` pre športovcov a `Parametry_N_p` pre nešportovcov. Podobný výpočet, avšak pre smerodajnú odchýlku prevádzame pomocou funkcie `std` a výsledky sa ukladajú do premenných `Parametry_S_s` pre športovcov a `Parametry_N_s` pre nešportovcov. Veličinu si vyberáme pomocou pop-up menu, kde zvolená hodnota symbolizuje tretí rozmer matice `Hodnoty_S` pre športovcov alebo `Hodnoty_N` pre nešportovcov. Vznikajú štyri matice o rozmeroch 1×15 (15 fáz), kde sú uložené hodnoty priemerov a smerodajných odchýlok pre danú skupinu.

Tieto hodnoty následne vykresľujeme do grafov, kde v spodnom grafe (`axes.S_N`) sa vykreslia priemerné hodnoty a smerodajné odchýlky v každej fáze u športovcov a nešportovcov. Pravý horný graf (`Axes.S_p`) slúži na vykreslenie priemerných hodnôt a smerodajných odchýlok u športovcov a ľavý horný graf (`axes.N_p`) u nešportovcov.

Vypočítané hodnoty priemerov a smerodajných odchýlok danej veličiny sa zobrazia v tabuľke vpravo dole.

4.2.6 Štatistické hodnotenie, jeho implementácia do systému MATLAB

Neparametrické dvojvýberové testy používame v situácii, kedy dochádza k porušeniu predpokladu normality dát, a preto potrebám nášho štatistického vyhodnotenie najviac vyhovuje Wilcoxonov dvojvýberový test (inak nazývaný Mann Whitney U test, prípadne Wilcoxon Rank-Sum test), ktorý je obdobou testu rovnosti stredných hodnôt dvoch nezávislých náhodných výberov z normálnych rozdelení s rovnakým rozptylom, testuje však silnejšiu hypotézu, že dva základné súbory X, Y so spojitými distribučnými funkciami F, G majú rovnaké rozdelenie pravdepodobnosti. Podstata dvojvýberových testov spočíva v tom, že máme k dispozícii dva nezávislé náhodné výbery s ich distribučnými funkciami a testujeme hypotézu o totožnosti práve týchto dvoch distribučných funkcií. [21] [22]

Nech $X_1, \dots, X_m$ je náhodný výber zo spojitého rozdelenia s distribučnou funkciou F a $Y_1, \dots, Y_n$ je na ňom nezávislý náhodný výber zo spojitého rozdelenia s distribučnou funkciou G . Budeme testovať hypotézu, že distribučné funkcie sú totožné, tj. $H_0 : F = G$ proti alternatíve $H_1 : F \neq G$. [21] [22]

Všetky $m+n$ veličiny $X_1, \dots, X_m; Y_1, \dots, Y_n$ (tzv. združený výber) usporiadame vzostupne podľa veľkosti.

Súčet poradí hodnôt $X_1, \dots, X_m$ označíme T_1 a T_2 je súčet poradí hodnôt $Y_1, \dots, Y_n$. Platí:

$$T_1 + T_2 = \frac{1}{2}(m+n)(m+n+1) \quad (12)[21]$$

Vypočítajme štatistiky

$$U_1 = mn + \frac{m(m+1)}{2} - T_1; U_2 = mn + \frac{n(n+1)}{2} - T_2 \quad (13)[21]$$

Pritom platí $U_1 + U_2 = mn$. Pokiaľ $\min(U_1, U_2)$ je číslo menšie alebo rovné tabelizovanej hodnote (pri danej hladine α a rozsahov výberov m, n), nulovú hypotézu o totožnosti distribučnej funkcie zamietame. V prípade signifikancie väčšej než 0,05 nezamietame nulovú hypotézu H_0 . V prípade signifikancie menšej než 0,05 nulovú hypotézu H_0 zamietame a prijímame hypotézu H_1 . [21] [22]

Výpočet prebieha pomocou preddefinovanej funkcie `ranksum` zo štatistického toolboxu a výsledky testu sú zobrazované v tabuľke nachádzajúcej sa spodnej časti grafického prostredia. Štatistické významnosti sú odlišené farebne :

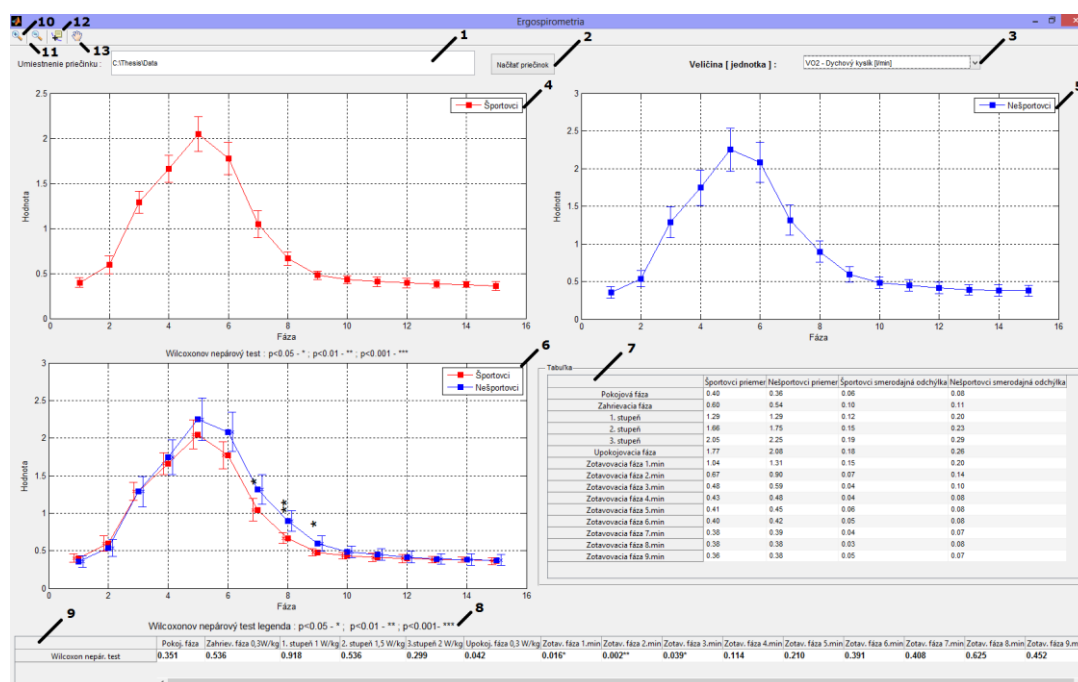
Signifikancia	Značenie
$p < 0,05$	*
$p < 0,01$	**
$p < 0,001$	***

Tabuľka 14 : Legenda signifikancie pre Wilcoxonov dvojvýberový test v Matlabe

Signifikantné rozdiely wilcoxonovho nepárového testu sú automaticky zobrazované v grafe (axes.S_N) pomocou hviezdičiek. Spôsob značenia je vyobrazený v tabuľke 14.

4.2.7 Tvorba grafického výstupu

Program je optimalizovaný pre rozlíšenie 1650 x 1050 pixelov a jeho spustenie na monitore s nižším rozlíšením môže spôsobiť nevyhovujúce rozmiestnenie prvkov v grafickom prostredí programu.



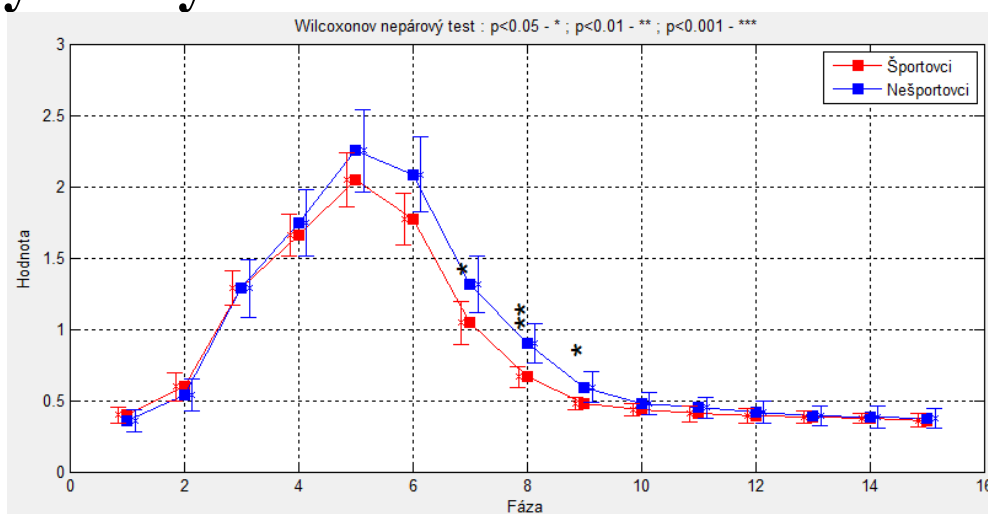
Obrázok 19 : Grafické prostredie programu Ergospirometria.m

Číslo	Popis
1	Cesta priečinku so súbormi .xls
2	Tlačidlo načítania priečinku
3	Líšta výberu veličiny
4	Graf priemerných hodnôt so smerodajnými odchýlkami pre zvolené veličiny pre športovcov
5	Graf priemerných hodnôt so smerodajnými odchýlkami pre zvolené veličiny pre nešportovcov
6	Graf priemerných hodnôt so smerodajnými odchýlkami a vyznačenou signifikanciou výsledkov Wilcoxonovho nepárového testu pre zvolené veličiny u športovcov a nešportovcov
7	Tabuľka priemerných hodnôt a smerodajnej odchýlky vybranej veličiny u športovcov a nešportovcov
8	Legenda signifikancie Wilcoxonovho nepárového testu
9	Tabuľka výsledkov Wilcoxonovho nepárového testu
10	Tlačidlo priblíženia
11	Tlačidlo oddialenia
12	Tlačidlo zobrazujúce hodnotu v danom bode
13	Tlačidlo posúvania grafu

Tabuľka 15 : Popis prvkov grafického prostredia programu Ergospirometria.m na obrázku 19

V prípade potreby je možné si pomocou tlačidiel v ľavom hornom rohu grafy priblížiť tlačidlom Zoom In, oddialiť tlačidlom Zoom Out a posunúť tlačidlom Pan.

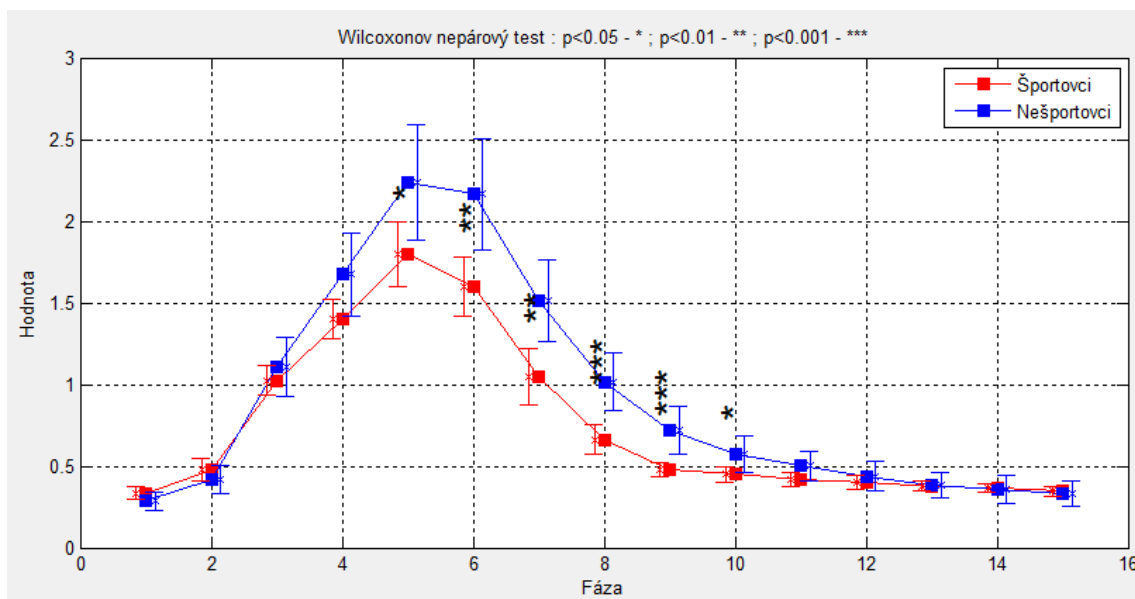
5. Výsledky



Obrázok 20 : Grafické znázornenie priemerných hodnôt VO_2 [l/min] so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov

Veličina	VO_2 [l/min]				
Fáza	Číslo fázy	Čas [min]	Športovci (priemer $\pm$ smer. odch)	Nešportovci (priemer $\pm$ smer. odch)	Wilcoxon
pokožová fáza	1	3.	$0,40 \pm 0,06$	$0,36 \pm 0,08$	0,351
zahrievacia fáza	2	4.	$0,60 \pm 0,10$	$0,54 \pm 0,11$	0,536
1. stupeň	3	7.	$1,29 \pm 0,12$	$1,29 \pm 0,20$	0,918
2. stupeň	4	10.	$1,66 \pm 0,15$	$1,75 \pm 0,23$	0,536
3. stupeň	5	13.	$2,05 \pm 0,19$	$2,25 \pm 0,29$	0,299
upokožová fáza	6	14.	$1,77 \pm 0,18$	$2,08 \pm 0,26$	0,042*
zotav. fáza 1.min	7	15.	$1,04 \pm 0,15$	$1,31 \pm 0,20$	0,016
zotav. fáza 2.min	8	16.	$0,67 \pm 0,07$	$0,90 \pm 0,14$	0,002**
zotav. fáza 3.min	9	17.	$0,48 \pm 0,04$	$0,59 \pm 0,10$	0,039*
zotav. fáza 4.min	10	18.	$0,43 \pm 0,04$	$0,48 \pm 0,08$	0,114
zotav. fáza 5.min	11	19.	$0,41 \pm 0,06$	$0,45 \pm 0,08$	0,210
zotav. fáza 6.min	12	20.	$0,40 \pm 0,05$	$0,42 \pm 0,08$	0,391
zotav. fáza 7.min	13	21.	$0,38 \pm 0,04$	$0,39 \pm 0,07$	0,408
zotav. fáza 8.min	14	22.	$0,38 \pm 0,03$	$0,38 \pm 0,08$	0,625
zotav. fáza 9.min	15	23.	$0,36 \pm 0,05$	$0,38 \pm 0,07$	0,452

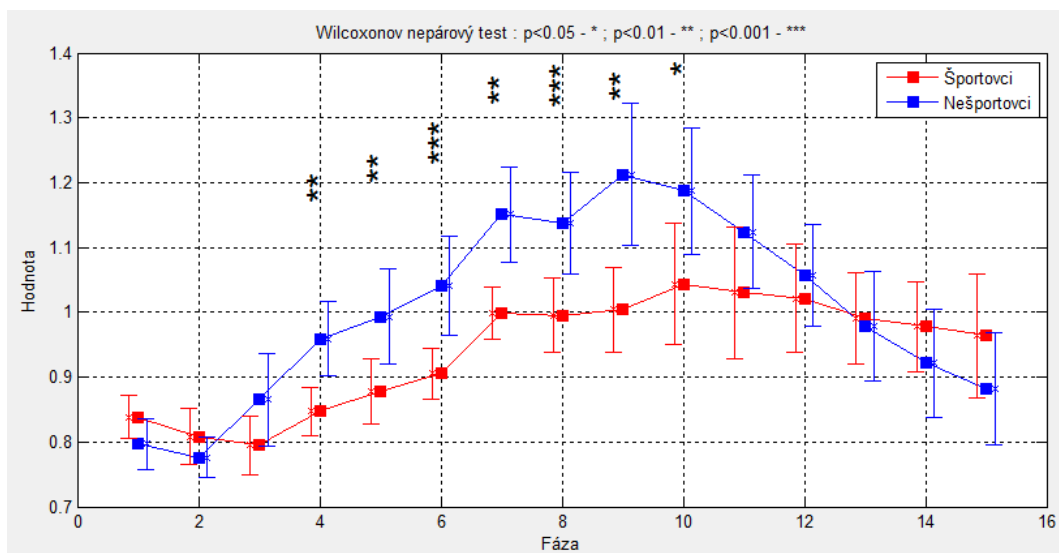
Tabuľka 16: Priemerné hodnoty VO_2 [l/min] v každej fáze so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov



Obrázok 21 : Grafické znázornenie priemerných hodnôt VCO_2 [l/min] so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov

Veličina	VCO_2 [l/min]				
Fáza	Číslo fázy	Čas [min]	Športovci (priemer ± smer. odch)	Nešportovci (priemer ± smer. odch)	Wilcoxon
pokoľová fáza	1	3.	0,33 ± 0,04	0,28 ± 0,06	0,114
zahrievacia fáza	2	4.	0,48 ± 0,07	0,42 ± 0,09	0,174
1. stupeň	3	7.	1,02 ± 0,09	1,11 ± 0,18	0,606
2. stupeň	4	10.	1,40 ± 0,12	1,68 ± 0,25	0,042*
3. stupeň	5	13.	1,80 ± 0,20	2,24 ± 0,35	0,023*
upokoľovacia fáza	6	14.	1,60 ± 0,18	2,16 ± 0,34	0,001**
zotav. fáza 1.min	7	15.	1,05 ± 0,17	1,51 ± 0,25	0,001**
zotav. fáza 2.min	8	16.	0,66 ± 0,09	1,02 ± 0,18	0,000***
zotav. fáza 3.min	9	17.	0,48 ± 0,04	0,72 ± 0,15	0,000***
zotav. fáza 4.min	10	18.	0,45 ± 0,05	0,57 ± 0,11	0,031*
zotav. fáza 5.min	11	19.	0,42 ± 0,04	0,50 ± 0,09	0,042*
zotav. fáza 6.min	12	20.	0,40 ± 0,04	0,44 ± 0,09	0,252
zotav. fáza 7.min	13	21.	0,38 ± 0,03	0,38 ± 0,08	0,624
zotav. fáza 8.min	14	22.	0,37 ± 0,03	0,36 ± 0,09	0,606
zotav. fáza 9.min	15	23.	0,35 ± 0,03	0,33 ± 0,08	0,758

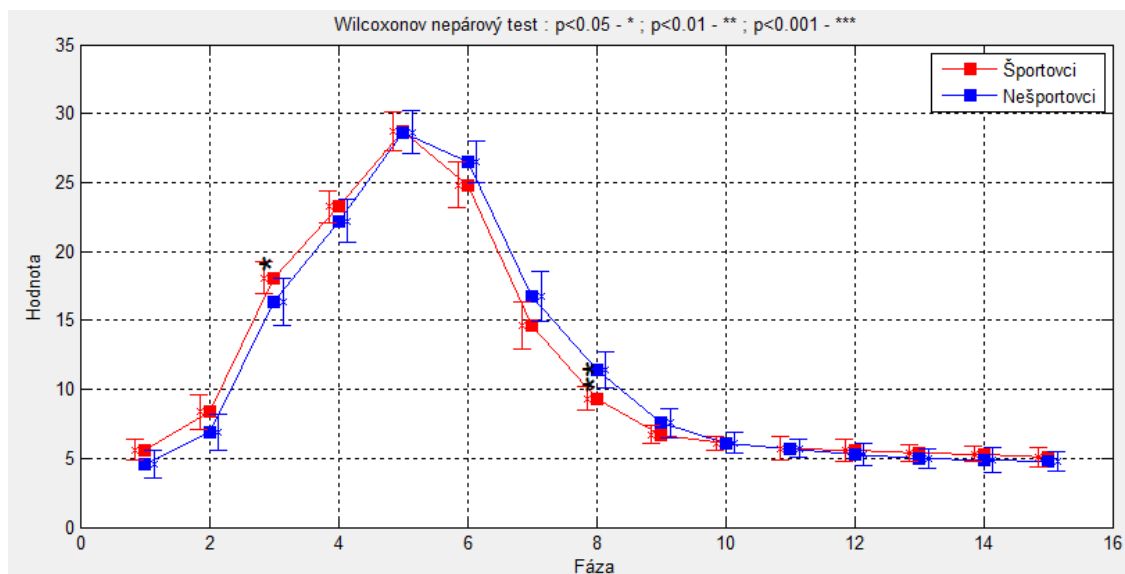
Tabuľka 17 : Priemerné hodnoty VCO_2 [l/min] v každej fáze so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov



Obrázok 22 : Grafické znázornenie priemerných hodnôt VCO_2 [l/min] so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov

Veličina	RER []				
Fáza	Číslo fázy	Čas [min]	Športovci (priemer ± smer. odch)	Nešportovci (priemer ± smer. odch)	Wilcoxon
pokojová fáza	1	3.	0,84 ± 0,08	0,80 ± 0,04	0,052
zahrievacia fáza	2	4.	0,81 ± 0,04	0,78 ± 0,03	0,174
1. stupeň	3	7.	0,80 ± 0,05	0,87 ± 0,07	0,055
2. stupeň	4	10.	0,85 ± 0,04	0,96 ± 0,06	0,002**
3. stupeň	5	13.	0,88 ± 0,05	0,99 ± 0,07	0,005**
upokojovacia fáza	6	14.	0,91 ± 0,04	1,04 ± 0,08	0,001***
zotav. fáza 1.min	7	15.	1,00 ± 0,04	1,15 ± 0,07	0,001**
zotav. fáza 2.min	8	16.	1,00 ± 0,06	1,14 ± 0,08	0,001***
zotav. fáza 3.min	9	17.	1,00 ± 0,07	1,21 ± 0,11	0,001**
zotav. fáza 4.min	10	18.	1,04 ± 0,09	1,19 ± 0,10	0,023*
zotav. fáza 5.min	11	19.	1,03 ± 0,10	1,12 ± 0,09	0,071
zotav. fáza 6.min	12	20.	1,02 ± 0,08	1,06 ± 0,08	0,351
zotav. fáza 7.min	13	21.	0,99 ± 0,07	0,98 ± 0,08	0,941
zotav. fáza 8.min	14	22.	0,98 ± 0,07	0,92 ± 0,08	0,210
zotav. fáza 9.min	15	23.	0,96 ± 0,09	0,88 ± 0,09	0,174

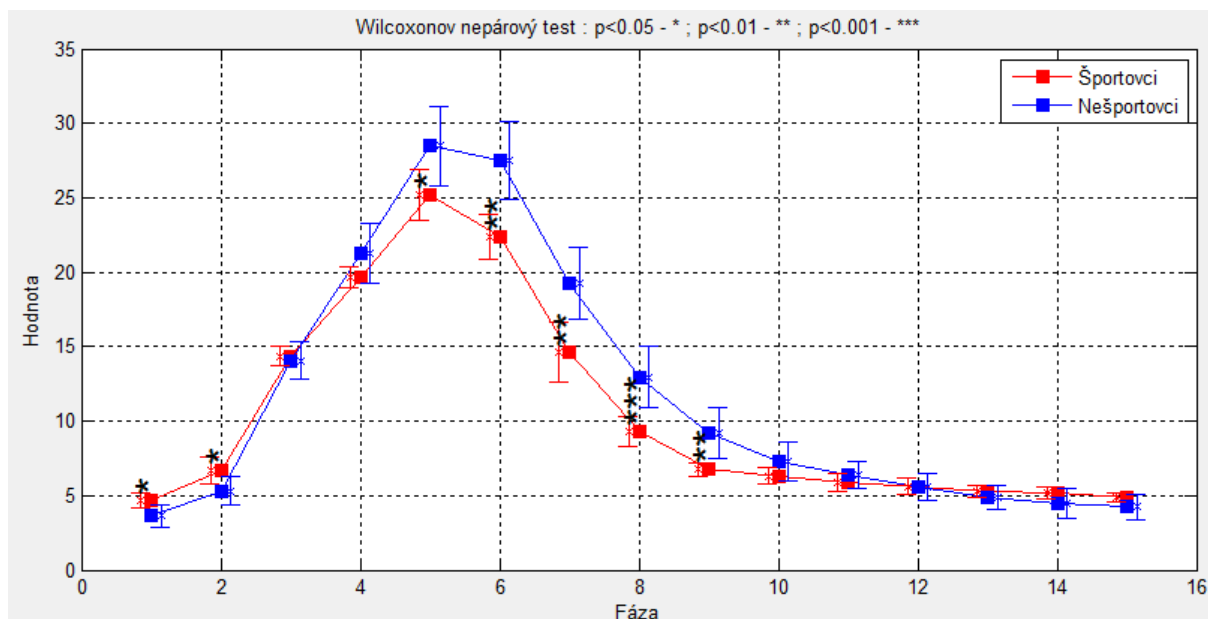
Tabuľka 18 : Priemerné hodnoty RER [] v každej fáze so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov



Obrázok 23: Grafické znázornenie priemerných hodnôt VO₂/kg [ml/kg/min] so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov

Veličina	VO ₂ /kg [ml/kg/min]				
Fáza	Číslo fázy	Čas [min]	Športovci (priemer ± smer. odch)	Nešportovci (priemer ± smer. odch)	Wilcoxon
pokoľová fáza	1	3.	5,62 ± 0,75	4,60 ± 1,02	0,071
zahrievacia fáza	2	4.	8,36 ± 1,27	6,87 ± 1,31	0,055
1. stupeň	3	7.	18,09 ± 1,17	16,35 ± 1,67	0,024*
2. stupeň	4	10.	23,26 ± 1,14	22,21 ± 1,54	0,252
3. stupeň	5	13.	28,69 ± 1,39	28,65 ± 1,53	0,837
upokoľová fáza	6	14.	24,84 ± 1,65	26,51 ± 1,51	0,055
zotav. fáza 1.min	7	15.	14,62 ± 1,70	16,73 ± 1,83	0,055
zotav. fáza 2.min	8	16.	9,35 ± 0,86	11,42 ± 1,31	0,001**
zotav. fáza 3.min	9	17.	6,73 ± 0,67	7,55 ± 1,02	0,12
zotav. fáza 4.min	10	18.	6,09 ± 0,55	6,13 ± 0,77	1
zotav. fáza 5.min	11	19.	5,73 ± 0,81	5,70 ± 0,65	0,837
zotav. fáza 6.min	12	20.	5,55 ± 0,81	5,28 ± 0,77	0,47
zotav. fáza 7.min	13	21.	5,39 ± 0,59	4,99 ± 0,67	0,299
zotav. fáza 8.min	14	22.	5,33 ± 0,55	4,89 ± 0,87	0,183
zotav. fáza 9.min	15	23.	5,08 ± 0,69	4,80 ± 0,73	0,47

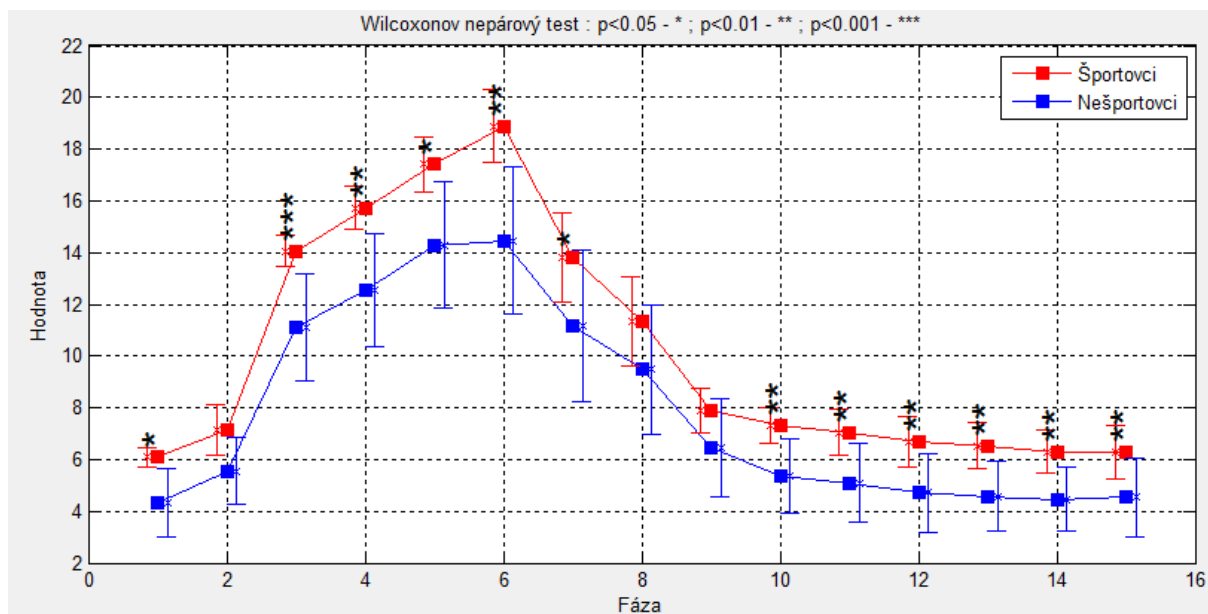
Tabuľka 19 : Priemerné hodnoty VO₂/kg [ml/kg/min] v každej fáze so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov



Obrázok 24: Grafické znázornenie priemerných hodnôt $\text{VCO}_2/\text{kg} [\text{ml}/\text{kg}/\text{min}]$ so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov

Veličina	$\text{VCO}_2/\text{kg} [\text{ml}/\text{kg}/\text{min}]$				
Fáza	Číslo fázy	Čas [min]	Športovci (priemer ± smer. odch)	Nešportovci (priemer ± smer. odch)	Wilcoxon
pokojuv fáza	1	3.	4,69 ± 0,54	3,64 ± 0,74	0,012*
zahrievacia fáza	2	4.	6,70 ± 0,90	5,31 ± 0,96	0,012*
1. stupeň	3	7.	14,36 ± 0,67	14,07 ± 1,26	0,758
2. stupeň	4	10.	19,65 ± 0,67	21,30 ± 2,00	0,042*
3. stupeň	5	13.	25,16 ± 1,73	28,47 ± 2,67	0,021*
upokojuvacia fáza	6	14.	22,40 ± 1,51	27,53 ± 2,62	0,002**
zotav. fáza 1.min	7	15.	14,62 ± 1,98	19,27 ± 2,43	0,003**
zotav. fáza 2.min	8	16.	9,29 ± 1,01	12,97 ± 2,04	0,000***
zotav. fáza 3.min	9	17.	6,74 ± 0,46	9,19 ± 1,73	0,001**
zotav. fáza 4.min	10	18.	6,32 ± 0,54	7,30 ± 1,29	0,142
zotav. fáza 5.min	11	19.	5,86 ± 0,58	6,40 ± 0,89	0,252
zotav. fáza 6.min	12	20.	5,62 ± 0,59	5,59 ± 0,94	0,628
zotav. fáza 7.min	13	21.	5,31 ± 0,40	4,88 ± 0,81	0,287
zotav. fáza 8.min	14	22.	5,18 ± 0,38	4,52 ± 1,01	0,069
zotav. fáza 9.min	15	23.	4,84 ± 0,29	4,25 ± 0,85	0,21

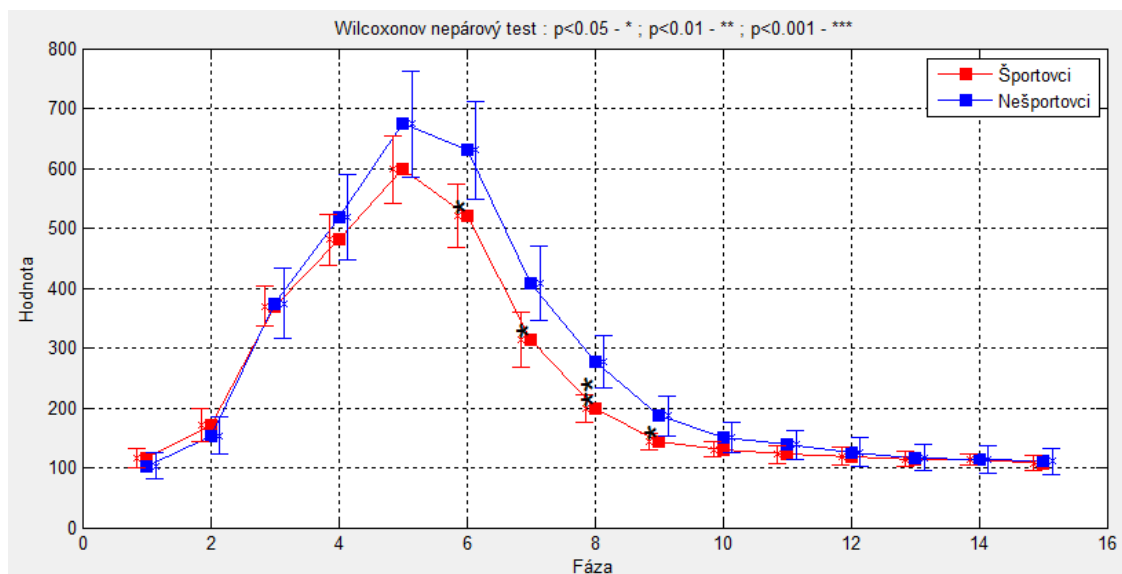
Tabuľka 20 : Priemerné hodnoty $\text{VCO}_2/\text{kg} [\text{ml}/\text{kg}/\text{min}]$ v každej fáze so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov



Obrázok 25: Grafické znázornenie priemerných hodnôt tepového O₂[ml/tep] so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov

Veličina	O ₂ pulse [ml/beat]				
Fáza	Číslo fázy	Čas [minúta]	Športovci (priemer ± smer. odch)	Nešportovci (priemer ± smer. odch)	Wilcoxon
pokojuv fáza	1	3.	6,09 ± 0,36	4,34 ± 1,33	0,023*
zahrievacia fáza	2	4.	7,16 ± 0,98	5,55 ± 1,30	0,042*
1. stupeň	3	7.	14,06 ± 0,61	11,11 ± 2,09	0,000***
2. stupeň	4	10.	15,73 ± 0,85	12,56 ± 2,18	0,001**
3. stupeň	5	13.	17,41 ± 1,06	14,30 ± 2,44	0,016*
upokojuvacia fáza	6	14.	18,89 ± 1,42	14,47 ± 2,96	0,008**
zotav. fáza 1.min	7	15.	13,81 ± 1,73	11,17 ± 2,94	0,031*
zotav. fáza 2.min	8	16.	11,32 ± 1,72	9,48 ± 2,50	0,114
zotav. fáza 3.min	9	17.	7,88 ± 0,88	6,46 ± 1,90	0,042*
zotav. fáza 4.min	10	18.	7,33 ± 0,68	5,37 ± 1,45	0,008**
zotav. fáza 5.min	11	19.	7,05 ± 0,88	5,09 ± 1,53	0,005**
zotav. fáza 6.min	12	20.	6,70 ± 0,98	4,72 ± 1,52	0,005**
zotav. fáza 7.min	13	21.	6,52 ± 0,89	4,57 ± 1,34	0,003**
zotav. fáza 8.min	14	22.	6,30 ± 0,85	4,46 ± 1,23	0,005**
zotav. fáza 9.min	15	23.	6,30 ± 1,03	4,53 ± 1,52	0,007**

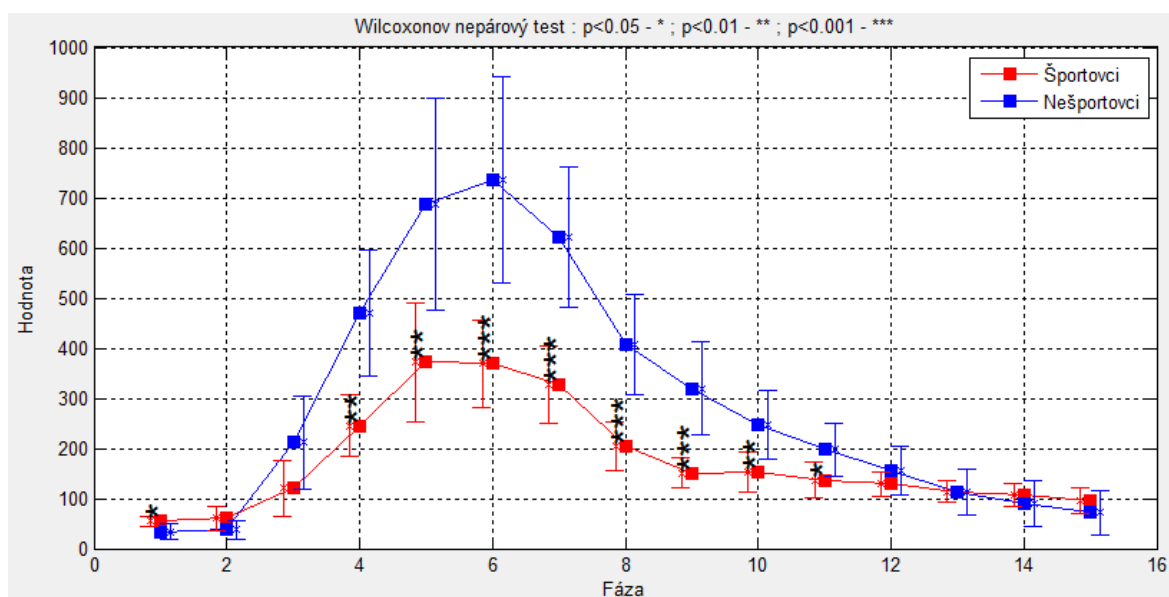
Tabuľka 21 : Priemerné hodnoty tepového O₂ [ml/tep] v každej fáze so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov



Obrázok 26: Grafické znázornenie priem. hodnôt energ. výdaja [kcal/h] so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov

Veličina	Energetický výdaj [kcal/h]				
Fáza	Číslo fázy	Čas [min]	Športovci (priemer ± smer. odch)	Nešportovci (priemer ± smer. odch)	Wilcoxon
pokojuv fáza	1	3.	115,55 ± 15,82	102,44 ± 21,79	0,351
zahrievacia fáza	2	4.	171,14 ± 28,00	153,46 ± 31,47	0,408
1. stupeň	3	7.	369,55 ± 32,88	373,98 ± 58,76	0,681
2. stupeň	4	10.	480,81 ± 41,99	518,81 ± 70,57	0,252
3. stupeň	5	13.	597,95 ± 56,74	674,26 ± 88,10	0,21
upokojuvacia fáza	6	14.	520,4 ± 52,75	630,22 ± 81,81	0,016*
zotav. fáza 1.min	7	15.	313,38 ± 46,27	407,65 ± 62,00	0,012*
zotav. fáza 2.min	8	16.	199,67 ± 22,81	277,13 ± 43,43	0,001**
zotav. fáza 3.min	9	17.	143,79 ± 12,91	186,54 ± 33,39	0,016*
zotav. fáza 4.min	10	18.	131,00 ± 11,74	150,43 ± 24,90	0,091
zotav. fáza 5.min	11	19.	122,79 ± 15,12	137,96 ± 23,10	0,114
zotav. fáza 6.min	12	20.	118,90 ± 14,81	126,30 ± 23,51	0,351
zotav. fáza 7.min	13	21.	114,67 ± 11,89	117,19 ± 20,85	0,351
zotav. fáza 8.min	14	22.	112,83 ± 9,18	113,24 ± 23,28	0,837
zotav. fáza 9.min	15	23.	107,24 ± 12,83	110,41 ± 21,07	0,536

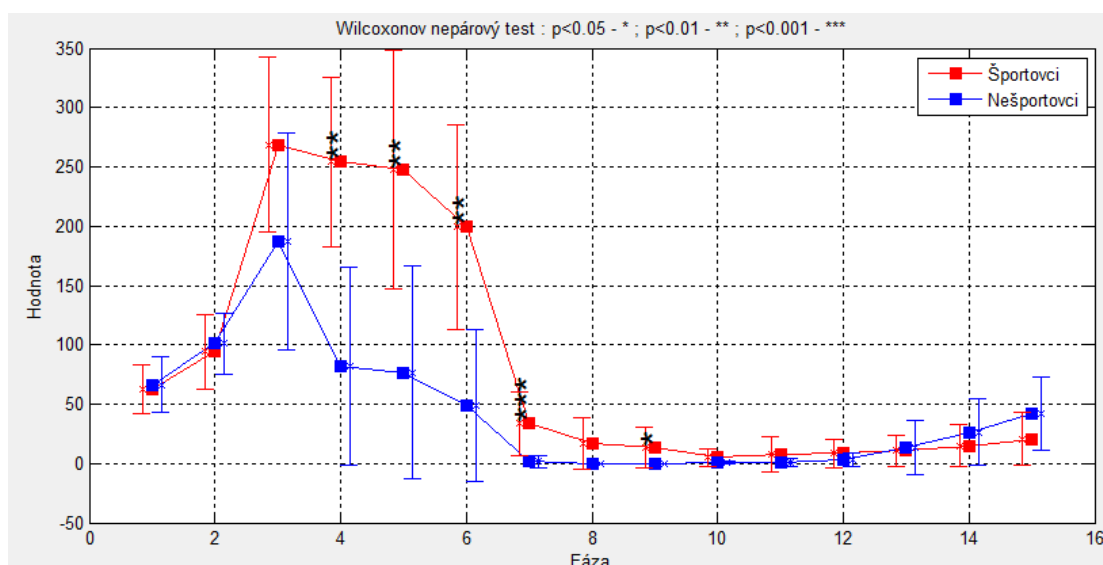
Tabuľka 22 : Priem. hodnoty energetického výdaja [kcal/h] v každej fáze so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov



Obrázok 27: Grafické znázornenie priem. hodnôt energ. výdaja sacharidov [kcal/h] so smerodaj. odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov

Veličina	Energetický výdaj sacharidov[kcal/h]				
Fáza	Číslo fázy	Čas [min]	Športovci (priemer ± smer. odch)	Nešportovci (priemer ± smer. odch)	Wilcoxon
pokojuv fáza	1	3.	54,68 ± 9,92	33,47 ± 15,45	0,016*
zahrievacia fáza	2	4.	60,53 ± 24,04	38,22 ± 18,78	0,071
1. stupeň	3	7.	120,27 ± 56,81	211,53 ± 92,98	0,042*
2. stupeň	4	10.	244,81 ± 61,86	468,80 ± 125,56	0,002**
3. stupeň	5	13.	372,09 ± 118,97	687,70 ± 211,06	0,003**
upokojuvacia fáza	6	14.	369,43 ± 87,02	735,71 ± 206,20	0,000***
zotav. fáza 1.min	7	15.	326,74 ± 77,03	622,12 ± 139,65	0,001***
zotav. fáza 2.min	8	16.	204,79 ± 49,43	407,36 ± 100,17	0,000***
zotav. fáza 3.min	9	17.	150,93 ± 29,97	319,48 ± 93,65	0,000***
zotav. fáza 4.min	10	18.	153,09 ± 39,18	246,69 ± 68,67	0,008**
zotav. fáza 5.min	11	19.	137,02 ± 34,67	197,98 ± 52,67	0,023*
zotav. fáza 6.min	12	20.	129,05 ± 24,79	154,838 ± 48,31	0,299
zotav. fáza 7.min	13	21.	114,15 ± 21,96	113,82 ± 45,41	0,918
zotav. fáza 8.min	14	22.	107,70 ± 23,05	89,14 ± 45,47	0,174
zotav. fáza 9.min	15	23.	95,66 ± 25,52	71,51 ± 43,53	0,174

Tabuľka 23: Priem. hodnoty energ. výdaja sacharidov [kcal/h] v každej fáze so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov



Obrázok 28: Grafické znázornenie priem. hodnôt energ. výdaja tukov [kcal/h] so smerodaj. odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov

Veličina	Energetický výdaj tukov[kcal/h]				
Fáza	Číslo fázy	Čas [min]	Športovci (priemer ± smer. odch)	Nešportovci (priemer ± smer. odch)	Wilcoxon
pokojová fáza	1	3.	62,20 ± 20,52	66,32 ± 23,67	0,758
zahrievacia fáza	2	4.	94,18 ± 31,33	101,06 ± 26,03	0,681
1. stupeň	3	7.	268,80 ± 73,33	187,65 ± 91,46	0,071
2. stupeň	4	10.	254,28 ± 71,64	82,24 ± 83,,20	0,001**
3. stupeň	5	13.	247,43 ± 100,85	76,75 ± 89,26	0,003**
upokojovacia fáza	6	14.	199,66 ± 86,33	48,75 ± 63,58	0,001**
zotav. fáza 1.min	7	15.	33,67 ± 27,06	1,65 ± 4,94	0,001***
zotav. fáza 2.min	8	16.	16,96 ± 21,60	0,00 ± 0,00	0,125
zotav. fáza 3.min	9	17.	12,91 ± 17,19	0,00 ± 0,00	0,038*
zotav. fáza 4.min	10	18.	5,24 ± 7,53	0,40 ± 1,20	0,096
zotav. fáza 5.min	11	19.	7,95 ± 14,78	1,03 ± 3,10	0,212
zotav. fáza 6.min	12	20.	8,49 ± 12,15	3,22 ± 5,55	0,716
zotav. fáza 7.min	13	21.	10,72 ± 12,85	13,33 ± 22,67	0,984
zotav. fáza 8.min	14	22.	14,78 ± 17,76	26,47 ± 28,26	0,349
zotav. fáza 9.min	15	23.	20,62 ± 22,13	41,98 ± 30,37	0,172

Tabuľka 24 : Priem. hodnoty energ. výdaja tukov [kcal/h] v každej fáze so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov

6. Diskusia

Hodnota veličiny dychového kyslíka meraná v l/min je na začiatku merania v pokojovej fáze (0W/kg) na úrovni 0,40 l/min u športovcov. Rozdiel medzi skupinami v tejto fáze je iba 0,04 l/min, čo odpovedá 1/10 v prospech športovcov. V ďalšej fáze, zahrievacej (0,3W/kg), je hodnota prijatého kyslíka u športovcov 0,60 l/min, čo je o 1/10 viac ako u nešportovcov. V prvom stupni záťaže (1W/kg) sú hodnoty objemu O₂ prijatého za minútu na úrovni 1,29 l/min a sú zhodné pre obidve skupiny. V druhom stupni záťaže (1,5 W/kg) už spotrebujú nešportovci viac kyslíka než športovci, konkrétne o 0,09 l/min. V 3. stupni záťaže (2W/kg) nešportovci spotrebúvajú stále viac kyslíka a rozdiel medzi skupinami sa zväčšuje (0,2 l/min). Prvý signifikantnejší rozdiel prichádza až v upokojovacej fáze (0,3W/kg), nešportovci spotrebúvajú 2,08 l/min O₂ a to je o 0,31 l/min viac než u športovcov. Od tejto fázy sa začnú rozdiely zvyšovať a od 2. minúty zotavovacej fázy postupne klesať až sa hodnoty prijatého kyslíka u športovcov a nešportovcov približne vyrovnajú. Graf na obrázku č. 20 znázorňuje, že športovci na vykonávanie rovnakej záťaže potrebovali menej kyslíka a po skončení záťaže a prejení do upokojovacej fázy došlo k strmšiemu poklesu týchto hodnôt než u nešportovcov, čo zodpovedá tomu, že športovcom sa rýchlejšie darí vyrovnať sa s kyslíkovým dlhom, pretože ich telo je zvyknuté na pravidelnú záťaž. Vyššie hodnoty dychového O₂ poukazujú na jeho vyššiu potrebu pri tvorbe energie utilizáciou substrátov [5][29][30].

Na začiatku záťaže, v pokojovej fáze (0 W/kg), je hodnota výdaja CO₂ u športovcov na úrovni 0,33 l/min, čo je o 0,05 l/min viac ako u nešportovcov. So začiatkom záťaže, v zahrievacej fáze, úroveň výdaja CO₂ stúpa, u športovcov je stále vyššia než u nešportovcov, konkrétne na úrovni 0,48 l/min. V 1. Stupni záťaže (1W/kg) dochádza k prudšiemu nárastu výdaja CO₂ u nešportovcov, na 1,11 l/min, čo je nad úroveň výdaja CO₂ u športovcov. V 2. stupni záťaže (1,5 W/kg) sa už začínajú prejavovať signifikantnejšie zmeny medzi skupinami, výdaj CO₂ u nešportovcov – 1,68 l/min je vyšší, než u športovcov – 1,40 l/min. V 3. stupni záťaže (2 W/kg) sa rozdiel medzi výdajmi CO₂ u športovcov a nešportovcov neustále zvyšuje, nešportovci 2,24 l/min, športovci 1,8 l/min. K najsigifikantnejším rozdielom dochádza v upokojovacej fáze (0,3 W/kg) kde je rozdiel medzi výdajmi u nešportovcov (2,16 l/min) a športovcov (1,6 l/min) až o 0,56 l/min väčší. Tieto sigifikantné rozdiely medzi skupinami pretrvávajú až do 3. minúty zotavovacej fázy, po ktorých už nasleduje pozvoľnejšie zmazávanie týchto rozdielov. Vyššie hodnoty výdaja CO₂ u nešportovcov poukazujú na horšiu adaptáciu organizmu v podobe rýchlejšieho prechodu organizmu na anaeróbný metabolizmus [15][20][26].

V pokojovej fáze (0 W/kg) je respiračný kvocient vyšší u športovcov (0,84) oproti nešportovcom (0,8). V zahrievacej fáze (0,3 W/kg) dochádza k poklesu hodnoty respiračného kvocientu u športovcov na 0,81; avšak táto hodnota je stále vyššia než u nešportovcov. Hodnoty RQ v pokoji môžu byť ovplyvnené napríklad stresom z merania alebo nepríjemným pocitom z nasadenej masky, v takýchto prípadoch dochádza k hyperventilácii a následnému zvýšeniu hodnôt RQ. V 1. stupni záťaže (1 W/kg) sa hodnota respiračného kvocientu u športovcov znížila o 0,01 a u nešportovcov došlo k nárastu o 0,09 čo poukazuje na dobrú adaptáciu organizmu športovcov na záťaž v podobe rýchleho prechodu na utilizáciu tukov, čo má mať za následok šetrenie energeticky výhodnejších zdrojov glukózy v tele. V 2. stupni záťaže (1,4 W/kg) je hodnota RQ vyššia u nešportovcov, konkrétne na úrovni 0,96 (oproti športovcom 0,85), čo poukazuje na zhoršenej adaptácii organizmu na záťaž a rýchly prechod smerom k anaeróbnému metabolizmu. V 3. stupni záťaže (2 W/kg) je hodnota RQ u nešportovcov stále vyššia (0,99) oproti športovcom (0,88). V upokojovacej fáze (0,3 W/kg) dochádza u nešportovcov k prechodu na anaeróbný metabolizmus (1,04); a u športovcov

zatiaľ ešte k tomuto deju nedochádza. V 1. minúte zotavovacej fázy (0 W/kg) došlo k prudkému nárastu RQ u športovcov na úroveň 1,0 a tento nárast poukazuje na to, že v tejto fáze využívajú sacharidy vo zvýšenej miere aj športovci. Hodnoty RQ u športovcov až do 3. minúty zotavovacej fázy ostávajú na rovnakej úrovni (1,0) a v 4. minúte zotavovacej fázy dochádza k nárastu na 1,04 a následnému pozvoľnému poklesu v ďalších fázach. U nešportovcov dochádza v 1. minúte zotavovacej fázy (0 W/kg) k nárastu RQ o 0,09 oproti predchádzajúcej fáze a tento nárast trvá až do 3. minúty zotavovacej fázy, kde hodnota RQ dosahuje 1,21. V zvyšných fázach dochádza k poklesu RQ nešportovcov až pod hodnotu RQ športovcov (konkrétne už v 7. min zotavovacej fázy). To poukazuje na zhoršenú adaptáciu organizmu nešportovcov na záťaž, v podobe zvýšenej potreby dodávať energiu pomocou anaeróbného metabolizmu [8][26][28][31].

Hodnoty príjmu O_2 v závislosti na jednotke hmotnosti nám poskytujú relevantnejšie informácie o skúmanej jednotke, než spotreba O_2 meraná v l/min. V pokojovej fáze (0 W/kg) je výdaj O_2 v závislosti na jednotku hmotnosti u športovcov na úrovni 5,62 ml/kg/min oproti 4,6 ml/kg/min u nešportovcov. V zahrievacej fáze (0,3 W/kg) hodnota prijatého O_2 na kg hmotnosti stúpa na úroveň 8,36 ml/kg/min u športovcov oproti 6,87 ml/kg/min u nešportovcov. Hodnota prijatého O_2 na kg rastie a je v 1. stupni záťaže na úrovni 18,09 ml/kg/min u športovcov a 16,35 ml/kg/min u nešportovcov. V 2. stupni záťaže (1,5 W/kg) dosahuje príjem O_2 na kg hmotnosti hladinu 23,26 ml/kg/min u športovcov a 22,21 ml/kg/min u nešportovcov. Najvyššie hladiny príjmu O_2 na kg hmotnosti dosahujú obidve skupiny v 3. stupni záťaže (2 W/kg) a to konkrétne 28,69 ml/kg/min u športovcov a 28,65 ml/kg/min u nešportovcov. K významnejším rozdielom medzi skupinou športovcov a nešportovcov začína dochádzať až v upokojuvacej fáze (0,3 W/kg) kde je príjem O_2 na kg hmotnosti u športovcov (24,84 ml/kg/min) prvýkrát nižší než u nešportovcov (26,51 ml/kg/min). Najvýznamnejšie rozdiely môžeme pozorovať v 1. Až 3. minúte zotavovacej fázy (napr. 9,35 ml/kg/min u športovcov; 11,42 ml/kg/min u nešportovcov) čo je spôsobené lepšou adaptáciou športovcov na záťaž a rýchlejšou úhradou kyslíkového dlhu, než u nešportovcov [5][29][30].

Hodnoty výdaja CO_2 v závislosti na jednotke hmotnosti nám poskytujú relevantnejšie informácie o skúmanej jednotke, než výdaj CO_2 meraný v l/min. Zo získaných hodnôt a s ohľadom na predchádzajúce informácie o výdaji CO_2 v l/min a informáciách z merania respiračného kvocientu, môžeme konštatovať, že u nešportovcov dochádza k horšej reakcii na záťaž, ktorá sa prejavuje rýchlejšim prechodom do anaeróbného metabolizmu v porovnaní so športovcami. Zvýšený výdaj CO_2 v závislosti na kg hmotnosti u nešportovcov, v porovnaní so športovcami, poukazuje na zvýšenú potrebu využívať sacharidy na základe čoho môžeme konštatovať, horší stav fyzickej kondície nešportovcov oproti skupine športovcov [15][20][26].

Hodnoty tepového kyslíka v ml/tep nám počas celého priebehu merania poukazujú na veľké rozdiely vo vplyvoch pravidelnej fyzickej aktivity na telo športovca. Už v pokojovej fáze (0 W/kg) môžeme pozorovať významný rozdiel keď hodnoty u športovcov sú na úrovni 6,09 ml/tep a u nešportovcov dosahujú hladinu 4,34 ml/tep. V zahrievacej fáze (0,3 W/kg) sa rozdiely zvyšujú v prospech športovcov (7,16 ml/tep u športovcov; 5,55 ml/tep u nešportovcov). Najvyšší rozdiel môžeme pozorovať v 1. stupni záťaže (1 W/kg) kde športovci dosahujú hladinu 14,06 ml/tep oproti nešportovcov, ktorí dosahujú iba 11,11 ml/tep. V tejto fáze sa prejavuje pravidelná fyzická aktivita športovcov najmä v pozvoľnejšom náraste tepovej frekvencie na rozdiel od nešportovcov. V ďalších fázach (2. stupeň až upokojuvacia fáza) môžeme pozorovať prudší vzrast hodnôt tepového kyslíka u športovcov, než u nešportovcov, čo poukazuje na pomalší nárast tepovej frekvencie ako

u nešportovcov. V rozmedzí upokojuvacej fázy až 3. minúty zotavovacej fázy je taktiež vidieť veľký rozdiel vo fyzickej kondícii, prejavuje sa v prudšom poklese hodnôt tepového kyslíka u športovcov v porovnaní s nešportovcami, čo je spôsobené rýchlejším poklesom tepovej frekvencie športovcov. Rýchlejší pokles tepovej frekvencie po záťaži poukazuje na lepšiu úroveň trénovanosti organizmu. Čím je pokles prudší, tým bola záťaž pre organizmus menej náročná a organizmus je po nej schopnejší sa dostať naspäť na hodnoty zodpovedajúce stavu organizmu v pokoji. Tepová frekvencia je skvelým ukazovateľom aktuálneho stavu kardiovaskulárneho systému a veľmi citlivo reaguje na akékoľvek psychické, či fyzické zaťaženie organizmu a vďaka tomu je aj ukazovateľom toho, či sa v tele deje niečo patologické. Nižšia tepová frekvencia pri záťaži poukazuje na to, že organizmus lepšie reaguje na záťaž, a že táto záťaž je pre neho menej náročná (srdečný rytmus je nižší) [5][26][29].

Energetický výdaj organizmu je v pokojovej a zahrievacej fáze vyšší u športovcov, než u nešportovcov. V 1. stupni záťaže (1 W/kg) dochádza k prudšiemu nárastu energetického výdaja u nešportovcov, ich energetický výdaj (373,98 kcal/h) presahuje hodnotu energetického výdaja u športovcov (369,55 kcal/h). Prudší nárast energetického výdaja u nešportovcov v porovnaní so športovcami trvá až do konca 3. stupňa záťaže (2 W/kg). Od upokojuvacej fázy (0,3 W/kg) dochádza k prudšiemu poklesu energetického výdaja u športovcov v porovnaní s nešportovcami a hodnoty energetického výdaja u oboch skupín sa dostanú na podobnú hodnotu až v 8. minúte zotavovacej fázy [8][24][25].

Hodnoty energetického výdaja sacharidov v pokojovej fáze (0 W/kg) sú 54,68 kcal/h u športovcov a 33,47 kcal/h u nešportovcov. V zahrievacej fáze (0,3 W/kg) rastú tieto hodnoty na úroveň 60,53 kcal/h u športovcov a 38,22 kcal/h u nešportovcov. V 1. stupni záťaže (1 W/kg) dochádza k prudkému nárastu energetického výdaja sacharidov u nešportovcov, dosahuje hodnotu 211,54 kcal/h, športovci sú na úrovni 120,27 kcal/h. V 2. stupni záťaže sa rozdiel medzi skupinami prehĺbuje, (úroveň 468,8 kcal/h u nešportovcov a 244,81 kcal/h u športovcov). V 3. stupni dosahujú hodnoty energetického výdaja sacharidov úrovne 687,7 kcal/h u nešportovcov a 372,09 kcal/h u športovcov. Najvyšší energetický výdaj sacharidov vykazujú nešportovci v upokojuvacej fáze, kde dosahuje hladinu až 735,71 kcal/h (športovci 369,43 kcal/h). Hodnoty energetického výdaja začínajú od prvej minúty zotavovacej fázy klesať, u nešportovcov z 622 kcal/h až na úroveň 71,51 kcal/h v 9. minúte zotavovacej fázy a u športovcov tieto hodnoty klesajú z úrovne 326,74 kcal/h až na hladinu 95,66 kcal/h. Asi najsignifikantnejším ukazovateľom stavu fyzickej kondície z nami hodnotených parametrov sú hodnoty energetického výdaja sacharidov. Podľa predchádzajúcich znalostí vieme, že telo dobre trénovaného jedinca sa snaží od začiatku fyzickej aktivity čo najskôr prejsť na čerpanie energie z iných zdrojov než sacharidových, a je to z toho dôvodu, že zásoby tukov v tele sú omnoho väčšie než zásoby sacharidov a preto metabolizovaním tukov telo šetrí zásoby sacharidov, ktoré sú efektívnejším zdrojom energie než tuky [15][25][29].

Energetický výdaj tukov začína na úrovni 62,60 kcal/h u športovcov a 66,32 kcal/h z nešportovcov. V zahrievacej fáze (0,3 W/kg) rastú hodnoty na hladinu 94,18 kcal/h u športovcov a 101,06 kcal/h u nešportovcov. V 1. stupni záťaže stúpajú na úroveň 268,8 kcal/h u športovcov a 187,65 kcal/h u nešportovcov. V 2. stupni záťaže (1,5 W/kg) dochádza k signifikantnej zmene medzi porovnávanými skupinami, pretože telo športovcov je zvyknuté na fyzickú záťaž a pokračuje v užívaní tukov zhruba na podobnej úrovni, narozdiel od nešportovcov, kde dochádza k výraznému poklesu na hodnotu 82,24 kcal/h, čo poukazuje na to, že organizmus nešportovcov nie je navyknutý na fyzickú záťaž a užíva potrebnú energiu zo sacharidov. Organizmus športovcov užíva tuky preto, aby efektívnejšie zdroje energie vo forme sacharidov ponechal „na horšie časy.“ V 3. stupni záťaže (2 W/kg) dosahuje

energetický výdaj tukov úrovne 247,43 kcal/h u športovcov a 76,75 kcal/h u nešportovcov. V upokojuvacej fáze (0,3 W/kg) je hladina energetického výdaja tukov u športovcov na úrovni 199,66 kcal/h a u nešportovcov na úrovni 48,75 kcal/h. V 1. minúte zotavovacej fázy je energetický výdaj tukov u športovcov na úrovni 33,67 kcal/h a u nešportovcov 1,65 kcal/h. V 2. Až 3. minúte zotavovacej fázy (0 W/kg) dochádza k poklesu energetického výdaja tukov u športovcov z 16,96 kcal/h na 12,91 kcal/h, na rozdiel od nešportovcov, kde v týchto fázach k metabolizmu tukov nedochádza vôbec. V ďalších fázach hodnoty energetického výdaja tukov pomaličky rastú až sa dostanú na úroveň 20,62 kcal/h u športovcov a 41,98 kcal/h u nešportovcov [15][25][32].

Vďaka nadobudnutých informáciám pred meraním vznikol predpoklad, že :

- Hodnoty dychového O_2 v priebehu záťaže a zotavovacích fáz budú vyššie u nešportovcov než u športovcov [5][29][30]
- Hodnoty dychového CO_2 budú v priebehu záťaže a zotavovacích fáz vyššie u nešportovcov než u športovcov [15][20][26]
- Respiračný kvocient bude v priebehu záťaže a zotavovacích fáz vyšší u nešportovcov než u športovcov [8][26][28][31]
- Hodnoty tepového O_2 budú v celom priebehu merania vyššie u športovcov než u nešportovcov [5][26][29]
- Hodnoty energetického výdaja budú v priebehu záťaže a zotavovacích fáz vyššie u nešportovcov než u športovcov [8][24][25]
- Hodnoty energetického výdaja sacharidov budú v priebehu záťaže a zotavovacích fáz nižšie u športovcov než u nešportovcov [15][25][29]
- Utilizácia tukov v priebehu záťaže a zotavovacej fázy bude u športovcov vyššia než u nešportovcov [15][25][32]

Na základe nameraných údajov môžeme potvrdiť, že očakávania sa do určitej miery naplnili, a že dokonca dochádza k významným rozdielom aj pri zaťažení pod najnižšou hodnotou fyziologickej záťaže (2,2 W/kg). Tieto významné rozdiely poukazujú na odlišnosti v adaptácii organizmov športovcov a nešportovcov na záťaž a na základe týchto rozdielov môžeme navrhnutý protokol merania používať aj v klinickej praxi. Zaujímavosťou sú vyššie hodnoty meraných veličín (neplatí pre tepový kyslík, kde boli tieto hodnoty očakávané) u športovcov v porovnaní s nešportovcami vo fázach, kedy by mal byť organizmus v pokoji a nemal by byť až do takej miery ovplyvňovaný záťažou (pokojová fáza, zahrievacia fáza, posledné dve minúty zotavovacej fázy). Pokojové hodnoty meraných veličín môžu ovplyvňovať rôzne parametre ako napríklad stres z merania, nepríjemný pocit z nasadenej masky, únava a vyčerpanosť organizmu (napr. u športovcov po náročných tréningových jednotkách v období merania) [24][26][29].

7. Záver

Táto práca potvrdila výhodnosť použitia programového prostredia MATLAB k vytvoreniu programu slúžiaceho k spracovaniu a vyhodnoteniu fyziologických veličín dvoch vybraných skupín –športovcov a nešportovcov. Každá z posudzovaných veličín poukazuje na rozdiely vo fyzickej kondícii u týchto dvoch skupín a dáva nám dobrý obraz o stave fyzickej kondície aj bez komplexnejšieho hodnotenia viacerých prvkov z výstupného protokolu ergospirometrického merania. Tento program môže byť po úpravách pre konkrétne podmienky laboratória, vyšetrovni upravený tak, aby mohol byť obsluhovaný i osobou, ktorá sa programovaním profesionálne nezaobrá, ale získané výsledky jej pomôžu v konkrétnom

rozhodovaní klinického stavu. Výhodou tohto programu je to, že aj takýto test relatívne krátkeho trvania s malou fyzickou aktivitou, ktorá neprekračuje najnižšiu fyziologickú hodnotu záťaže 2,2 W/kg dokáže adekvátne poukázať na stav fyzickej kondície. Vyšetrované skupiny nám poslúžili ako vzorka a v prípade nasadenia programu do klinickej praxe by bolo nutné rozšíriť databázu u hodnoty pacientov rôznych vekových skupín a pohlavia, ktoré by potom slúžili ako vzorka a na základe ktorých by sa potom hodnotili parametre nameraných veličín u pacientov. Keďže tento test neprekračuje najnižšiu fyziologickú hodnotu záťaže je ho možné použiť v každodennej klinickej praxi pre hodnotenie aktuálneho stavu fyzickej kondície napríklad pred vstupom jedinca do športového klubu alebo policajného zboru, ozbrojených síl či súkromných bezpečnostných služieb a iných povolání, kde sa vyžaduje dobrý stav fyzickej kondície. Program by mohol nájsť uplatnenie aj pri hodnotení fyzickej kondície pred a po operácii alebo liečbe.

8. Zoznam príloh

8.1 Zoznam obrázkov

Obrázok 1 : Dýchacie svaly [34]

Obrázok 2 : Základná mechanika ventilácie [10]

Obrázok 3 : Parciálne tlaky plynov (mm Hg) v rôznych častiach respiračnej a obehovej sústavy[13]

Obrázok 4 : Vplyv pH a teploty na disociačnú krivku hemoglobínu [34]

Obrázok 5: Disociačná krivka hemoglobínu pre O₂ (pH = 7,40;teplota = 38°C) [3č]

Obrázok 6 : Disociačná krivka CO₂. Arteriálny(a) a venózný bod (v) predstavujú obsah CO₂ v arteriálnej a venóznej krvi u zdravého človeka v pokoji [34]

Obrázok 7 : Regulácia dýchania, dychové podnety [34]

Obrázok 8 : Regenerácia ATP [34]

Obrázok 9 : Spotreba energie v priebehu svalového výkonu [34]

Obrázok 10 : Schéma protokolu ergospirometrického merania

Obrázok 11 : Nastavenie stupňov zaťaženia v programe SDS-104

Obrázok 12 : Priebeh ergospirometrického merania v programe LF8

Obrázok 13 : Prístroj PowerCube – pohľad spredu [23]

Obrázok 14 : Prístroj PowerCube – pohľad zozadu (popis konektorov) [23]

Obrázok 15 : Prístroj PowerCube – pohľad zozadu č. 2 (popis konektorov) [23]

Obrázok 16 : Ergospirometrická maska a penumotachograf [23]

Obrázok 17 : Plynová bomba používaná pri kalibrácii [23]

Obrázok 18 : Grafické zobrazenie dát vybratých pre analýzu (červenou farbou)

Obrázok 19 : Grafické prostredie programu Ergospirometria.m

Obrázok 20 : Grafické znázornenie priemerných hodnôt VO₂ [l/min] so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov

Obrázok 21 : Grafické znázornenie priemerných hodnôt VCO₂ [l/min] so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov

Obrázok 22 : Grafické znázornenie priemerných hodnôt VCO₂ [l/min] so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov

Obrázok 23: Grafické znázornenie priemerných hodnôt VO_2/kg [ml/kg/min] so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov

Obrázok 24: Grafické znázornenie priemerných hodnôt VCO_2/kg [ml/kg/min] so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov

Obrázok 25: Grafické znázornenie priemerných hodnôt tepového O_2 [ml/tep] so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov

Obrázok 26: Grafické znázornenie priem. hodnôt energ. výdaja [kcal/h] so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov

Obrázok 27: Grafické znázornenie priem. hodnôt energ. výdaja sacharidov [kcal/h] so smerodaj. odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov

Obrázok 28: Grafické znázornenie priem. hodnôt energ. výdaja tukov [kcal/h] so smerodaj. odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov

8.2 Zoznam tabuliek

Tabuľka 1 začiatok : Základné objemy a kapacity pľúc [10]

Tabuľka 1 začiatok : Základné objemy a kapacity pľúc [10]

Tabuľka 2 : Označenie a popis meraných a analyzovaných veličín [23]

Tabuľka 3 : Vek, výška, váha a BMI meraných jedincov

Tabuľka 4 : Popis a frekvencia aktivít u športovcov

Tabuľka 5 : Popis a frekvencia aktivít u nešportovcov

Tabuľka 6 začiatok : Technické špecifikácie prístroja PowerCube[23]

Tabuľka 6 pokračovanie : Technické špecifikácie prístroja PowerCube [23]

Tabuľka 7 : Popis prístroja PowerCube na obrázku č. 13 [23]

Tabuľka 8 : Popis konektorov prístroja PowerCube na obrázku č. 14 [23]

Tabuľka 9: Popis konektorov prístroja PowerCube na obrázku č. 15 [23]

Tabuľka 10 : Popis pneumotachografu s pripojenou ergospirometrickou maskou na obrázku 16 [23]

Tabuľka 11 : Popis kalibračnej plynovej bomby na obrázku 17 [23]

Tabuľka 12 : Popis fáz a ich riadková lokalizácia v dokumente .xls a matici

Tabuľka 13: Popis fáz a ich stĺpcová lokalizácia v dokumente .xls a matici

Tabuľka 14 : Legenda signifikancie pre Wilcoxonov dvojvýberový test v Matlabe

Tabuľka 15 : Popis prvkov grafického prostredia programu Ergospirometria.m

Tabuľka 16: Priemerné hodnoty VO_2 [l/min] v každej fáze so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov

Tabuľka 17 : Priemerné hodnoty VCO_2 [l/min] v každej fáze so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov

Tabuľka 18 : Priemerné hodnoty RER [] v každej fáze so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov

Tabuľka 19 : Priemerné hodnoty VO_2/kg [ml/kg/min] v každej fáze so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov

Tabuľka 20 : Priemerné hodnoty VCO_2/kg [ml/kg/min] v každej fáze so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov

Tabuľka 21 : Priemerné hodnoty tepového O_2 [ml/tep] v každej fáze so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov

Tabuľka 22 : Priem. hodnoty energetického výdaja [kcal/h] v každej fáze so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov

Tabuľka 23: Priem. hodnoty energ. výdaja sacharidov [kcal/h] v každej fáze so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho testu u športovcov a nešportovcov

Tabuľka 24 : Priem. hodnoty energ. výdaja tukov [kcal/h] v každej fáze so smerodajnými odchýlkami, a signifikanciou Wilcoxonovho

9. Literatura

- [1] HALL, J., *Guyton and Hall textbook of medical physiology*. 12. vyd., Philadelphia: Saunders/Elsevier, 2010, 1120 s., ISBN 14-160-4574-0.
- [2] ROKYTA, Richard. *Fyziologie pro bakalářská studia v medicíně, ošetrovatelství, přírodovědných, pedagogických a tělovýchovných oborech*. 2. preprac. vyd., Praha: ISV, 2008, 426 s., ISBN 978-80-86642-47-5.
- [3] WARD, J., P., R. LINDEN. *Základy fyziologie*. 1. vyd. Praha: Galén, 2010, 164 s. ISBN 978-807-2626-670.
- [4] ČIHÁK, R., *Anatomie 2*. 2. vyd., Praha: Grada Publishing, 2002, 470 s., ISBN 80-247-0143-X.
- [5] BORON, W., F., E., L. BOULAPEP. *Medical physiology: a cellular and molecular approach*. 2. preprac. vyd., Philadelphia: Saunders/ Elsevier, 2011, 1337 s., ISBN 978-1437717532.
- [6] HOLIBKOVÁ, A., S. LAICHMAN. *Přehled anatomie člověka*. 4. vyd., Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2006, 140 s., ISBN 80-244-1480-5.
- [7] MARIEB, E., N., K. HOEHN. *Human anatomy & physiology*. 9. preprac. vyd., Boston: Pearson, 2012, 1264 s., ISBN 03-217-4326-1.
- [8] HRAZDIRA, I., V. MORNSTEIN. *Lékařská biofyzika a přístrojová technika*. 1. vyd., Brno: Neptun, 2001, 381 s., ISBN 80-902-8961-4.
- [9] TORTORA, G., J., B. DERRICKSON. *Principles of anatomy & physiology*. 13. preprac. vyd., New Jersey: Wiley, 2012, 1334 s., ISBN 9780470917770.
- [10] KITTNAR, O. *Lékařská fyziologie*. 1. vyd., Praha: Grada, 2011, 790 s., ISBN 978-802-4730-684.
- [11] COSTANZO, L., S. *Physiology*. 4. vyd., Philadelphia, PA: Saunders/Elsevier, 2010, 493 s., ISBN 978-141-6062-165.
- [12] JAVORKA, K. *Lekárska fyziologia*. 3. prep. vyd., Martin: Osveta, 2009, 742 s. ISBN 978-808-0632-915.
- [13] BARRETT, K., E. *Ganong's review of medical physiology*. 23. preprac. vyd., Maidenhead: McGraw-Hill, 2010, 714 s., ISBN 978-007-1270-663.
- [14] WILHELM, Z. *Stručný přehled fyziologie člověka pro bakalářské studijní programy*. 4. vyd., Brno: Masarykova univerzita, 2010, 117 s., ISBN 978-80-210-5283-3.
- [15] POCOCK, G. *Human physiology*. 3. preprac. vyd. New York: Oxford University Press, 2006, 638 s., ISBN 01-985-6878-9.
- [16] RHOADES, R., D., R., BELL. *Medical physiology: principles for clinical medicine*. 4. vyd., Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams, 2012, 819 s., ISBN 978-160-9134-273.
- [17] FOX, S., I. *Human physiology*. 12. preprac. vyd., New York: McGraw-Hill, 2010, 832 s., ISBN 978-007-7350-062.

- [18] SILVERTHORN, D., U., B., R., JOHNSON. *Human physiology: an integrated approach*. 5. preprac. vyd. San Francisco: Pearson/Benjamin Cummings, 2010, 867 s. ISBN 03-215-5939-8.
- [19] STANDFIELD, C., L. *Principles of human physiology*. 3., preprac. vyd. San Francisco: Pearson/Benjamin Cummings, 2012, 800 s., ISBN 978-0321810144.
- [20] BARBOSA, P.B., FERREIRA, E.M., V., ARAKAKI, J.S., O., TAKARA, L.S., MOURA, J., NASCIMENTO, R., NERY, L.E., NEDER, J.A., *Kinetics of skeletal muscle O₂ delivery and utilization at the onset of heavy-intensity exercise in pulmonary arterial hypertension*", *European journal of applied physiology*, vol. 111, no. 8, 2011, str. 1851-61. ISSN 1439-6319
- [21] KNAPCOVÁ, B. *Neparametrické metody pro testování hypotéz* [online, cit. 2013-05-30]. 2008, Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Jan Kolářek. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/175486/prif_b/
- [22] KVASNIČKA, P. *Testy základných štatistických hypotéz* [online cit. 2013-05-02]. KJFB FMFI UK. Dostupné z: <http://bio-med-stat.webnode.sk/projekt-kega-003uk-4-2012/vystupy-projektu/>
- [23] *PowerCube-Ergo Cardiopulmonary Function Testing: Operating Instruction Manual Ref.No. 01 140 0 141, rev.02 – ENGLISH*, GANSHORN MEDIZIN ELECTRONIC GMBH: Nemecko, 2004, 136 s.
- [24] HARRINGTON, D.M., MARTIN, C.K., RAVUSSIN, E., KATZMARZYK, P.T., *Activity related energy expenditure, appetite and energy intake. Potential implications for weight management*, *Appetite*, vol. 67, 2013, str. 1-7, ISSN 01956663
- [25] THOMAS, C., BERNARD, O., ENEA, C., JALAB, C., HANON, C. *Metabolic and Respiratory Adaptations during Intense Exercise Following Long-Sprint Training of Short Duration*, *European Journal of Applied Physiology*, vol. 112, no. 2, 2012, str. 667-75, ISSN 1439-6319.
- [26] MOHAMMAD, M.M., DADASHPOUR, S., ADIMI, P., *Predicted values of cardiopulmonary exercise testing in healthy individuals (A pilot study)*, *Tanaffos*, vol. 11, no. 1, 2012, str. 18-25, ISSN 17350344
- [27] MAESTÚ L., P., PEDRO J.,G., *Lung Function Tests in Clinical Decision-Making, Archivos de Bronconeumología (English Edition)*, vol. 48, no. 5, 2012, str. 161-169, ISSN 0300-2896
- [28] ALEMDAROGLU, U., DÜNDAR, U., KÖKLÜ, Y., ASCI, A., *Evaluation of aerobic capacity in soccer players: Comparison of field and laboratory tests*, *Biology of Sport*, vol. 29, no. 2, 2012, str. 157-161, ISSN 0860021X
- [29] METAXAS, T.I., KOUTLIANOS, N.A., KOUIDI, E.J., DELIGIANNIS, A.P., *Comparative Study of Field and Laboratory Tests for the Evaluation of Aerobic Capacity in Soccer Players*. *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 19, no. 1, 2005, str. 79-84, ISSN 1064-8011

- [30] GRIFFITHS L., A., MCCONELL A., K., *The influence of inspiratory and expiratory muscle training upon rowing performance*, European Journal of Applied Physiology, vol. 99, no. 5, 2007, str. 457-466, ISSN 1439-6319
- [31] MCCLAVE, S., A., *Clinical use of the Respiratory Quotient obtained from Indirect Calorimetry*. JPEN, Journal of Parenteral and Enteral Nutrition, vol. 27, no. 1, 2003, str. 21-6, ISSN 0148-6071
- [32] GRUND, A., KRAUSE, H., KRAUS, M., SIEWERS, M., RIECKERT, H., MÜLLER, M., *Association between different attributes of physical activity and fat mass in untrained, endurance- and resistance-trained men*, European journal of applied physiology, vol. 84, no. 4, 2001, str. 310-20, ISSN 1439-6319
- [33] SILBERNAGL, S., A. DESPOPOULOS. *Atlas fyziologie člověka*. 6., preprac. vyd. Praha: Grada, 2004, 435 s. ISBN 80-247-0630-X.
- [34] GANONG, W., F., *Přehled lékařské fyziologie*. 20. vyd. Praha: Galén, 2005, 890 s. ISBN 80-726-2311-7.
- [35] ZAPLATÍLEK, K., *MATLAB pro začátečníky*. 2. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 151 s. ISBN 80-730-0175-6.
- [36] TROJAN, S., *Lékařská fyziologie*. 4. preprac. vyd. Praha: Grada Publishing, 2003, 771 s. ISBN 80-247-0512-5.