

**ENERGETIKA ORGANISMU; ERGOMETRIE; MĚŘENÍ PLICNÍCH OBJEMŮ**

Autor: Ing. Jana Štěpanovská

TEORETICKÝ ÚVOD**TERMODYNAMIKA A ERGOMETRIE**

Metabolismus je definován jako soubor všech energetických a chemických přeměn v organismu, které tak zajišťují základní existenci forem života – kontinuitu procesu výměny hmoty a energie s okolním prostředím. Příjem a výdej hmoty je v jednoduchém základním vztahu, který lze vyjádřit bilanční rovnicí: příjem = výdej ± zásoby organismu. Příjem energie je zajišťován přísunem a zpracováním základních živin (cukrů, tuků a bílkovin). Dále jsou potřebné minerální látky, vitamíny a voda. Přisun živin, mimo vody, může být bez poruchy přerušen i na několik dní. Energii lze totiž čerpat nebo ji ukládat do zásob organismu. Zásobní hotovostí je lipidy ve formě podkožního tuku, sacharidy (jaterní a svalový glykogen) a jako poslední proteiny (albuminová hotovost).

Výdej energie je nepřerušitelný děj, na němž závisí existence života a nemůže tak být závislý na příjmu potravy. Jednak je do výdeje započítána využitelná energie, dále pak ztráty, zejména tepelné.

Energie potřebná pro základní energetickou přeměnu (bazální metabolický obrat, tj. energie nutná k udržení základních funkcí organismu nezbytných k životu – krevní oběh, dýchání, činnost žláz s vnitřní sekrecí, membránový transport atp.) závisí na řadě faktorů, zejména na věku, výšce, pohlaví či hmotnosti.

Celkový energetický výdej organismu je tvořen třemi složkami:

Bazální metabolismus (BM) představuje podstatnou část energetického výdeje (55–75 %) a slouží k zajištění základních životních funkcí organismu.

Postprandiální termogeneze je spojena s trávením, vstřebáváním a metabolismem živin a také s aktivací sympatického nervového systému po jídle. Jde tedy o velikost energie, která je potřebná ke zpracování a absorbování energie z potravy do organismu. Velikost energie, potřebné pro tyto pochody, se může pohybovat, v závislosti na typu potravy, až do 30–35 % (u bílkovin) z energetické hodnoty potravy. Tedy energie potřebná ke zpracování potravy se může pohybovat až na třetině energetického zisku, kterou bychom mohli z potravy získat. Na celkovém výdeji energie se postprandiální termogeneze podílí 8–12 %.



Návod na cvičení 1: Energetika organismu; ergometrie; měření plicních objemů

Energetický výdej při pohybové aktivitě se podílí na celkovém výdeji asi 20 – 40 %, v závislosti na charakteru a náročnosti vykonávané práce, okolních klimatických podmínkách a dalších vnějších vlivech. Fyzická aktivita má vliv na celkový energetický výdej i v klidové fázi vzhledem k tonu svalstva (až několik hodin po vykonané aktivitě). Součet tří předchozích složek je označován jako *klidový metabolismus (KM)* v případě, že proband nevykonává náročnou fyzickou činnost, jinak jde o tzv. *metabolismus pracovní (PM)*.

VÝPOČET BAZÁLNÍHO, KLIDOVÉHO A PRACOVNÍHO METABOLISMU ORGANISMU

Vzhledem k požadavkům na zajištění bazálních podmínek organismu (stav nalačno, v tělesném a duševním klidu, vleže, 2 dny bez příjmu bílkovin...), které lze obtížně zajistit, se využívají tabulky a rovnice pro stanovení náležité hodnoty energetické přeměny.

VÝPOČET BM – DLE TABULEK NEBO VZTAHU DLE HARRISE A BENEDICTA:

pro muže:

$$BM = [66,47 + (13,75 \cdot m) + (5,0 \cdot v) - (6,76 \cdot věk)] \cdot 4,2 \quad (1)$$

pro ženy:

$$BM = [65,51 + (9,56 \cdot m) + (1,85 \cdot v) - (4,68 \cdot věk)] \cdot 4,2 \quad (2)$$

kde BM (kJ/24 hod.).. bazální metabolismus,

m (kg).. hmotnost jedince,

v (cm).. výška jedince,

$věk$ (roky).. věk jedince.

VÝPOČET TEORETICKÉHO KM/PM – VÝPOČET VYCHÁZEJÍCÍ Z BM, FAKTORU AKTIVITY A TĚLESNÉ TEPLoty

$$aKEV (kJ/24hod.) = BM \cdot AF \cdot TF \quad (3)$$

kde BM (kJ/24 hod.).. bazální metabolismus,

AF (-).. faktor aktivity.

$TF (-)$.. faktor tělesné teploty.

Faktor AF		Žena	Muž
Ležící pacient		1,1	
Ležící, ale mobilní pacient		1,2	
Mobilní pacient		1,3	
Zdravý pacient	Lehká práce	1,55	1,60
	Střední práce	1,64	1,78
	Těžká práce	1,82	2,10

Faktor TF (při zvýšené tělesné teplotě stoupá BM o 10 – 14 %)

38 °C	1,1
39 °C	1,2
40 °C	1,3
41 °C	1,4

STANOVENÍ ENERGETICKÉHO VÝDEJE V KLIDU A PŘI PRÁCI – NEPŘÍMÁ KALORIMETRIE

Dokonce i v klidovém stavu, udržení homeostáze vyžaduje určité energetické nároky na **bazální metabolismus (BM)**. **Klidový metabolismus (KM)**, je metabolismus celého organismu za klidových podmínek a je přibližně o 10-20 % vyšší než BM. Převáděno na kalorie je to asi o 300-400 kcal více. Stanovuje se ze spotřeby kyslíku v klidových podmínkách při znalosti energetického ekvivalentu kyslíku (tj. množství energie, které vznikne využitím 1 litru kyslíku). Hodnota energetického ekvivalentu pro kyslík (EE_{O_2}) kolísá v rozmezí cca 20-21 $\text{kJ}\cdot\text{l}^{-1}$ a mění se podle druhu metabolizovaných živin (sacharidy 18,8 kJ, lipidy 17,6 kJ, proteiny 16,8 kJ při 37 °C) a podle intenzity zatížení.

K zajištění klidové energetické přeměny 1,3 kcal/min je třeba asi 250 ml kyslíku. V klidu činí spotřeba kyslíku přibližně 3,5 $\text{ml}/\text{kg}/\text{min}^{-1}$ což odpovídá jednomu metabolickému ekvivalentu (MET), který se používá pro měření energetického výdeje. Jakákoliv námaha navíc vyvolává rostoucí nároky na tento metabolismus.

Při zátěži hovoříme o tzv. **pracovním metabolismu (PM)** a lze jej vypočítat z množství spotřebovaného kyslíku.

$$PM = VO_2 \cdot EE_{O_2} \cdot t \quad (4)$$

Návod na cvičení 1: Energetika organismu; ergometrie; měření plicních objemů

PM – pracovní metabolismus [kJ], VO_2 – objem spotřebovaného kyslíku za 1 minutu [l/min], EE_{O_2} – energetický ekvivalent kyslíku [$\text{kJ}\cdot\text{l}^{-1}$], t – čas [min].

Z toho vyplývá, že metabolismus vyžaduje pro svoji funkci zdroje energie, „pohonné látky“, a podle použitých mechanismů (oxidačních nebo ne), také „oxidační činidla“, tedy kyslík. Sice existují rezervy ve svalecth připravené k použití (zásoby ATP a keratinfosfátu), ale tyto rezervy jsou omezené a jakákoli delší činnost vyžaduje energii vytvořenou oxidačními procesy.

Mezi nejčastější pohonné látky patří uhlohydráty, bílkoviny a tuky. Jejich metabolické zpracování a oxidační reakce se liší v závislosti na jejich chemickém složení, což vede také k rozdílným nárokům na spotřebu kyslíku a k různě velké produkci oxidu uhličitého na mol použitého substrátu. Můžeme je vyjádřit jako vztah mezi množstvím oxidu uhličitého na množství kyslíku pro každou z „pohonných“ látek. Tento vztah se nazývá *respirační kvocient (RQ)*, který se pro uhlohydráty pohybuje v rozmezí 0,7 – 1 (přesněji viz tabulka 3). Při intenzivní zátěži může RQ stoupnout až na hodnotu 2,0 (vydechováno je více CO_2 , což je způsobeno přeměnou kyseliny mléčné na CO_2).

$$RQ = \frac{V_{CO_2}}{V_{O_2}} = \frac{V_{CO_2E} - V_{CO_2I}}{V_{O_2I} - V_{O_2E}} \quad (5)$$

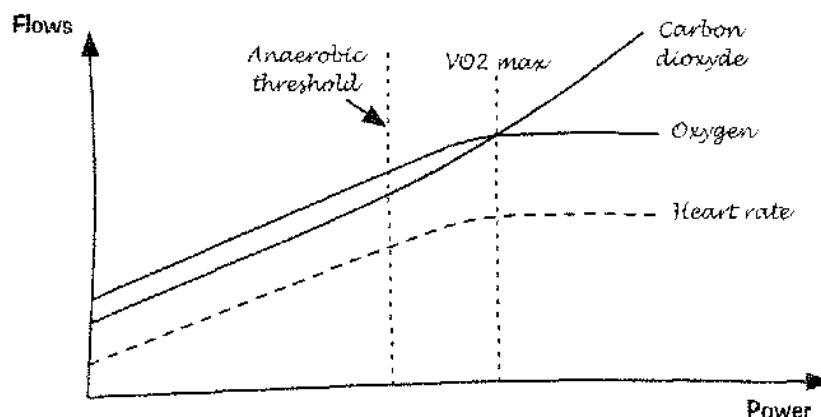
RQ – respirační kvocient [-], V_{CO_2E} – objem vydechnutého CO_2 [ml], V_{CO_2I} – objem nadechnutého CO_2 [ml], V_{O_2I} – objem nadechnutého O_2 [ml], V_{O_2E} – objem vydechnutého O_2 [ml]

Tabulka 1. Velikost energetického ekvivalentu kyslíku dle RQ a přehled spalovaných zásob při daném RQ.

Nebílkovinný RQ	Energetický ekvivalent EE_{O_2} (kJ)	Oxidace živin (%)	
		Sacharidy	Tuky
0,701	19,6	0	100
0,710	19,6	1,1	98,9
0,750	19,8	15,6	84,4
0,800	20,1	33,4	66,6
0,850	20,4	50,7	49,3
0,900	20,6	67,5	32,5
0,950	20,9	84,0	16,8
1,000	21,1	100	0

Pokud se zaměříme na spotřebu kyslíku a množství vytvořeného oxidu uhličitého v organismu, jsme schopni určit množství a typ spalovaných látek, a tudíž i množství spálené energie. Tyto informace dané do vztahu s pohybovým výdejem mohou posloužit k sestavení energetického přehledu a výkonnosti z hlediska *termodynamiky*. Je samozřejmé, že toto platí pouze pro čistě *aerobní* (závislý na kyslíku) metabolismus,

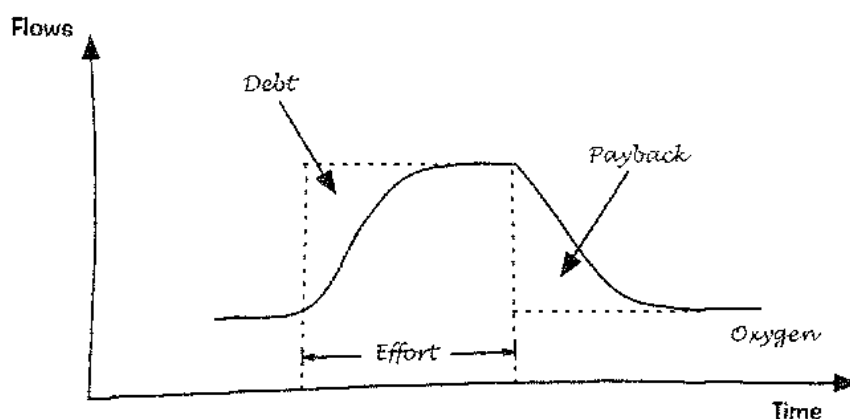
Návod na cvičení 1: Energetika organismu; ergometrie; měření plicních objemů
nikoli pro *anaerobní*.



Obrázek 1. Spotřeba kyslíku a výdej oxidu uhličitého v závislosti na námaze.

Lidské tělo je schopné se přizpůsobit velmi širokému spektru zátěže, od odpočinku až po běh, což vyžaduje i značné změny jak v metabolismu tak i v souvisejících výměnách plynů. Je zřejmé, že i krevní oběh, který slouží jako prostředník mezi dýcháním, tkáněmi a především svaly, se musí také přizpůsobovat na základě metabolických potřeb (viz graf níže).

Pro zjednodušení můžeme předpokládat, že dýchání (příjem kyslíku a výdej oxidu uhličitého) vzroste spolu s vynaloženým úsilím při námaze. Tyto křivky samozřejmě nezačínají v nule, ale na úrovni hodnot odpovídajících bazálnímu metabolismu. Postupně s rostoucím úsilím se svaly uchylují kromě klasického aerobního metabolismu ještě k anaerobní glykolýze, což se projevuje zvýšením kyselosti krve a větším uvolňováním oxidu uhličitého. Úroveň, kdy se tento fenomén objevuje se nazývá *anaerobní práh*. Přesto lze tuto úroveň úsilí znásobit až na hranici, která odpovídá maximálnímu využití kyslíku ($VO_2 \max$). Tento limit odpovídá většinou maximu dýchací kapacity a stejně tak i maximu kardiovaskulárního systému (například maximu srdeční frekvence), které jsou za normálních podmínek přizpůsobené jedna druhé. V určitých patologických případech, jeden z těchto dvou systémů může předčasně omezit přísun kyslíku.



Obrázek 2. Vytváření a obnova kyslíkového dluhu po fyzické námaze.

Jelikož přenos dýchacích plynů z tkání a do tkání není okamžitý (prodlení v přenosu v plicních sklípcích, v krevním oběhu a v difúzi na úrovni svalů) a jelikož regulační procesy krevního oběhu a dýchání se odehrávají také s určitým zpožděním, můžou se objevit transitní fenomény. První z nich se nazývá kyslíkový dluh a představuje situaci, kdy je náhlá činnost vykonávána jen díky zásobě energie uložené ve svalech až do doby než se dýchání stihne adaptovat. Tyto zásoby musí být pak následně znovu obnoveny, což vyžaduje „dodatečné“ dýchání k dohnání počátečního nedostatku (*dluhu*). K stejnému jevu dochází i s oxidem uhličitým.

PŘIZPŮSOBNÍ KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU NÁMAZE

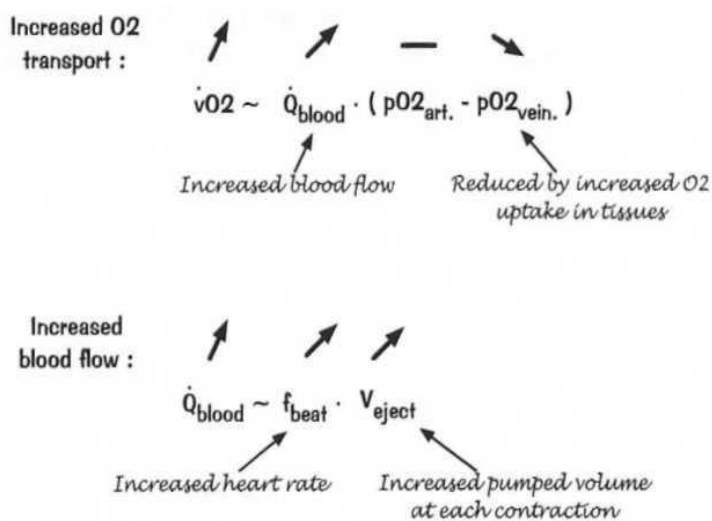
Rovněž i kardiovaskulární systém se musí v případě námahy přizpůsobit, aby byl schopen proudy kyslíku a oxidu uhličitého, které se s rostoucí funkcí metabolismu také zvětšují, transportovat z plic k aktivním tkáním. Vidíme (Obr. 2), že proudy vyměňovaných plynů prostřednictvím dýchání a přenášené krví závisí (z hlediska krve) na velikosti průtoku krve a na rozdílech mezi parciálními tlaky nebo na saturaci. V případě kyslíku, zvýšení množství transportovaného krví v případě fyzické námahy vychází především ze zvýšení krevního průtoku, nebo také ze snížení množství kyslíku (saturace, tedy odpovídajícího parciálního tlaku) zůstávajícího v žilách vedoucích zpět do plic následně po větším odběru kyslíku na úrovni tkání.

Zvýšení objemu krve je způsobeno zvýšením srdeční frekvence a zároveň zvýšením pumpovaného objemu krve při každé kontrakci, což způsobuje lepší naplňování srdce (lepší návrat krve žilami), které se na úrovni tepen projeví zvětšením amplitudy jednotlivých *pulsů* ("pulse pressure").

Co se týče periferního oběhu krve, ve kterém pozorujeme stejný vzrůst krevního průtoku, je zde třeba zvýšit rozdíl v tlaku odpovídajícím za proudění krve (existuje ještě další způsob adaptace zvaný vasodilatace, který navíc ještě snižuje odpor působící proti

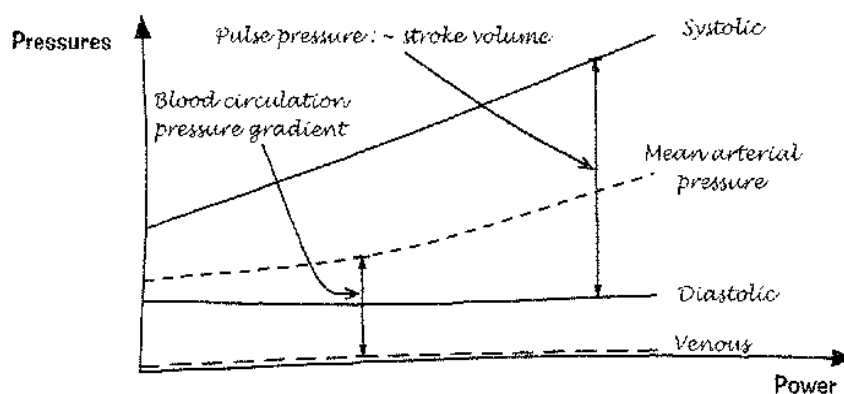
Návod na cvičení 1: Energetika organismu; ergometrie; měření plicních objemů

proudění krve). Hnací tlak, který řídí proudění krve, představuje rozdíl mezi *průměrným tepenným a žilním tlakem*.



Obrázek 3. Zvýšení přenosu kyslíku krví v případě námahy.

Žilní tlak během námahy nebude příliš ovlivněn (může se trochu snížit, což se projeví jako pokles periferního odporu následně po vasodilataci), z čehož vyplývá, že značně vzroste průměrný tepenný tlak. V klidovém stavu se průměrný tepenný tlak blíží spíše k diastolickému než k systolickému. S narůstající námahou se tento průměrný tepenný začne pohybovat mezi systolickým a diastolickým, se snahou přiblížit se střední hodnotě těchto dvou za pomoci zkrácení doby diastolické fáze oproti systolické, což se projeví zvýšením srdeční frekvence.



Obrázek 4. Vývoj krevních tlaků při námaze.

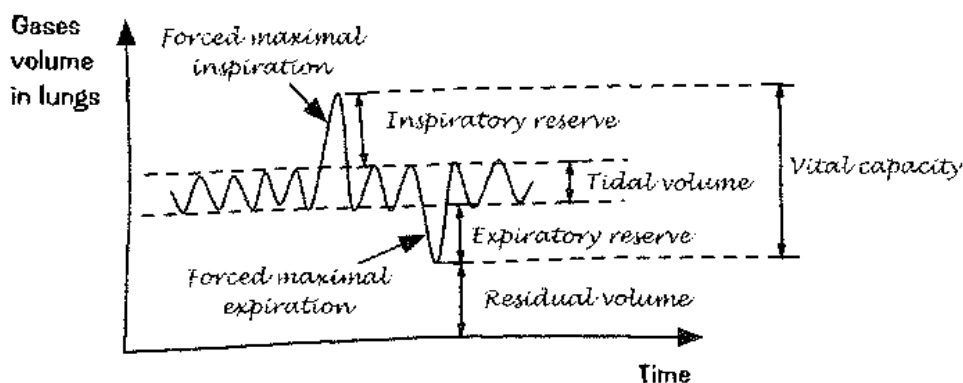
Závěrem je nutné ještě zmínit, že existují ještě další doplňující adaptační mechanismy na námahu, jako je například přerozdělování objemů krve mezi jednotlivými orgány.

VENTILACE A PLYNNÉ VÝMĚNY PŘI DÝCHÁNÍ

Tradičně bývá funkce dýchání vysvětlována jako přívod nezbytného kyslíku do *oxidačního systému* organismu. O něco méně často je dýchání spojováno s eliminací oxidu uhličitého, který je produkován organismem, a ještě vzácněji se zmiňuje úzká provázanost tohoto mechanismu s regulací kyselosti krve, a tudíž celého těla.

Dýchání představuje kombinaci mechanických pohybů *ventilace* zprostředkávajících kontakt vzduchu s krví v plicních sklípcích a různých výměn prostřednictvím *difúze*, jež probíhají oboustranně na základě parciálního tlaku plynů.

Ventilace spočívá ve střídání nádechů, kdy „čerstvý“ vzduch (z okolního prostředí) vchází do plic a zaplňuje tak část jejich objemu, a výdechů, kdy je část vzduchu v plicních sklípcích vypuzena. Rozpětí těchto nádechů/výdechů se však může značně měnit ve snaze přizpůsobit se neustále se měnícím potřebám či okolním podmínkám. Přesto obecně bývá považováno za lepší, když je součet výdechů a nádechů v delším období roven nule (ledaže se snažíme například něco nafukovat).



Obrázek 5. Návrh jednotlivých dýchacích objemů.

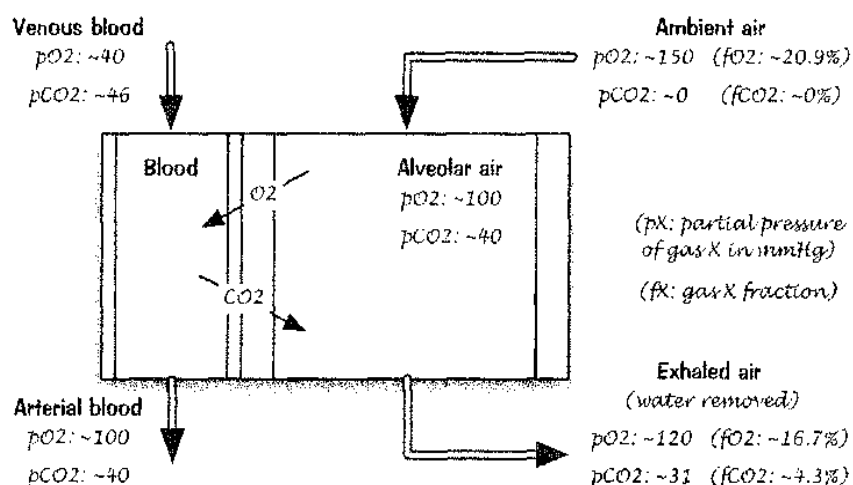
Běžná ventilace v klidovém stavu je charakteristická statickým *dechovým („tidal“)* *objemem* a rovnoměrnou dýchací frekvencí. Naproti tomu zde ale zůstávají *inspirační a expirační* dechové rezervy. Součet dechového objemu a rezerv se nazývá *vitální kapacita plic* a představuje celkovou vytiženost práce plic. Jak vidíme na obrázku 1 výše, je možné veškerý vzduch z plic vypudit. Přesto však v plicích vždy zůstává tzv. *reziduální* objem vzduchu, který během dýchání není obnovován.

Difúzní výměny plynů se odehrávají na úrovni plicních sklípků. Z toho logicky vyplývá, že aby mohlo být zajištěno dostatečné množství těchto plynů, je zapotřebí jen velmi tenká difúzní vzdálenost (v řádech mikronů) a obrovská plocha, kde výměna probíhá (v stovkách metrů čtverečních). Výměny těchto dvou stlačených tekutin (vzduchu a krve) jsou příliš složité a nebudou zde detailněji rozebírány. Přesto můžeme

zmínit některé hlavní následující charakteristiky.

Vzduch v plicních sklípcích je obnovován smícháním s vdechovaným vzduchem jen z části. Stejně tak vzduch vydechaný obsahuje jen pouhý zlomek vzduchu alveolárního. Navíc část vdechovaného vzduchu se vůbec nepodílí na výměnách, jelikož dochází k jejímu přichycení k průdušnici a k průduškám, aniž by do sklípků vůbec dorazila (hovoříme o tzv. *mrtvém objemu*). Toto všechno způsobuje, že vydechaný vzduch ne vždy znázorňuje situaci v plicních sklípcích.

Navíc je alveolární vzduch neustále *zvlhčován* do úrovně saturace a téměř tak získává teplotu lidského těla. I po smíchání se vdechnutým vzduchem obsahuje vydechaný alveolární vzduch vysoké procento vlhkosti, což se projevuje kondenzací, když se vydechaný vzduch ochlazuje. Tímto způsobem se denně ztrácí několik stovek mililitrů vody a je nutno je brát v potaz při analýze vydechaných plynů, protože tato voda představuje ne zrovna zanedbatelné procento ze směsi.



Obrázek 6. Výměny plynů mezi krví, alveolárním a okolním vzduchem.

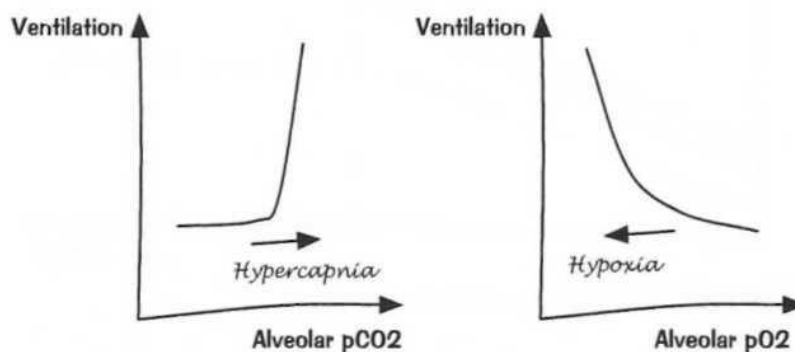
Závěrem lze konstatovat, že všechny výměny plynů na alveolární úrovni se odehrávají pomocí difúze, to znamená na základě parciálního tlaku, což má za důsledek, že tento transfer ustane a nemůže dále pokračovat, jakmile je dosaženo rovnováhy. Dále také platí, že se tento přenos zpomaluje s klesajícím gradientem, čímž se tak oddaluje i dosažení rovnovážného stavu.

REGULACE DÝCHÁNÍ

Za předpokladu, že dýchání se skládá pouze z ventilace a difúzních přenosů mezi vzduchem a krví, jedinou kontrolovatelnou částí procesu je právě zmiňovaná ventilace, jelikož difúze představuje výsledek nekontrolovatelných veličin. Regulování ventilace spočívá v modifikaci proudu vzduchu vcházejícího a vycházejícího z plic, s důrazem především na ovlivňování dechového objemu a dechové frekvence.

Dva druhy regulace dýchání, které zde budou zkoumány, se odehrávají při stavu *hypoxie*, nedostatečného okysličování krve, a *hyperkapnie* spočívající v nadměrném hromadění oxidu uhličitého v krvi. V obou případech se chybný přenos (kyslíku nebo nadbytečného oxidu uhličitého ve vdechovaném vzduchu) projeví zvýšeným průtokem dýchaného vzduchu, které vyvolá vyrovnávání parciálních tlaků na alveolární úrovni tak, aby byly blízké okolním hodnotám, a zároveň tak zvýší gradienty mezi krví a alveolárním vzduchem.

Dýchání prostřednictvím eliminace oxidu uhličitého je úzce spojené s rovnováhou kyseliny uhličitě, která hraje v lidském těle roli omezovatele kyselosti, a právě proto představuje toto dýchání poslední etapu zmiňované regulace. Je tudíž logické, že reakce ventilace na nejmenší změny v parciálních tlacích oxidu uhličitého bude značná. Tento druh reakce je řízen především centrálními chemoreceptory v mozku. Reakce na hypoxii je o něco více progresivní, protože je řízena chemoreceptory na úrovni aorty a karotid.



Obrázek 7. Regulace dýchání při hyperkapnii a hypoxii.

Závěrem je třeba poznamenat, že za normálních okolních podmínek pracují tyto dva druhy regulace zároveň. Proto je nezbytné značně upravit jeden z parametrů, aby vůbec jedna z regulací mohla být „vyřazena“ a my mohli zbylou detailněji prozkoumat.

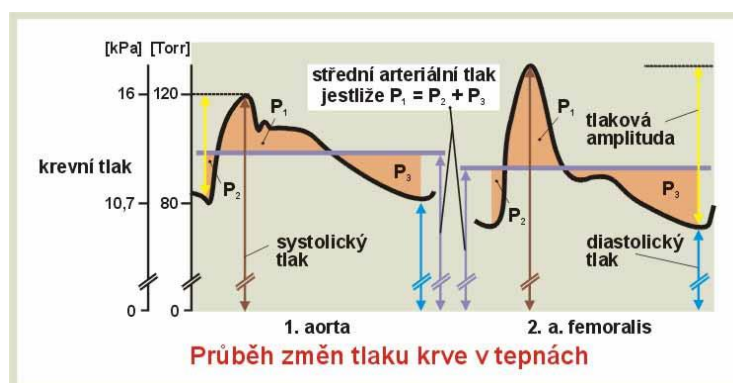
MONITORING KREVNIHO TLAKU (TK) A SRDEČNÍ FREKVENCE (SF)

Srdeční frekvence se během dne neustále mění a je závislá na mnoha faktorech. Rozpětí hodnot je od hodnot v klidu okolo 70 tepů (u sportovců 60 a méně) po hodnoty okolo 200 tepů.min⁻¹ při maximu. Fyziologicky se s nižšími hodnotami setkáváme vleže, v klidu, ve spánku (v druhé polovině noci, kdy dochází k útlumu sympatiku), zatímco hodnoty vyšší jsou projevem tělesné zátěže, psychického vzrušení, u malých dětí, ale i po jídle. Průměrná hodnota SF se během dne pohybuje okolo 75 tep.min⁻¹.

Čím delším je časový úsek, po který měříme, tím přesnější hodnoty SF frekvence získáme. Srdeční frekvence je velmi variabilní a proměnlivá veličina, proto je třeba si uvědomit že, nejméně přesné měření bude z úseku 10 sekund (vliv variability srdeční frekvence) a nej přesnější z úseku 60 sekund.

Krevní tlak (TK) je výsledkem součinem vypuzovací síly svaloviny srdečních komor, odporu periferních cév, objemem cirkulující krve a její viskozitou. Název tlak krve, zpravidla označujeme ne zcela správně, tlak krve v tepnách, přesněji v *a. brachialis*. Pro naše účely budeme krevním tlakem rozumět arteriální krevní tlak ve velkém oběhu. Kolísá při každém srdečním cyklu, nejvyšší hodnotu tepenného tlaku, které je dosaženo zhruba uprostřed vypuzovací fáze komor, nazýváme systolický tlak (TKs) a nejnižší hodnotu, na kterou klesne během diastoly, označujeme jako diastolický tlak (TKd).

Rozdílem mezi těmito tlaky je tlak pulsový neboli tlaková amplituda, tj. rozdíl mezi systolickým a diastolickým tlakem, normálně cca 50 torr. Střední tlak je průměrný tlak po dobu srdečního cyklu (obr. 14).



Obrázek 8. Tlaková křivka a změny tlaku při měření.

Protože systola je kratší než diastola, je střední tlak lehce nižší než poloviční hodnota mezi systolickým a diastolickým tlakem: stanoven může být pouze integrací plochy pod tlakovou křivkou, avšak přibližně se rovná diastolickému tlaku plus jedné třetiny tlakové amplitudy. Obvyklé značení krevního tlaku je TKs/TKd. Krevní tlak se fyziologicky mění v závislosti na dýchání (během inspiria klesá), na věku a cirkadiálním rytmu (nejnižších hodnot dosahuje TK v časných ranních hodinách).

VYBAVENÍ

Přístroje:

- Konvenční ventilátor pro umělou plicní ventilaci širokého spektra pacientů, s nepřímou kalorimetrií a analýzou vydechaného O₂ a CO₂,
- Spirometr Schiller SP 260
- Ergometr Ergoline 100

Pomůcky:

- Dvoucestný ventil

ERGOMETRICKÉ MĚŘENÍ

NORMÁLNÍ DÝCHÁNÍ

Pokusy v tomto odstavci se snaží zdokumentovat různé charakteristiky normálního dýchání, stejně tak i inspirační a expirační rezervy měřeného subjektu. Proveďte standardní měření dechových objemů pomocí spirometru Schiller SP 260. Pro toto měření použijte testy obsažené v programu SDS-104.

- Forced Vital Capacity (FVC, vitální kapacita při usilovném dýchání): během tohoto testu provede proband usilovný výdech v co možná nejkratším čase, po předchozím maximálním nádechu.
- Slow Vital Capacity (SVC, vitální kapacita při pomalém dýchání): proband by měl provést tři normální dechy, po kterých následuje maximální nádech a maximální výdech
- Maximum Voluntary Ventilation (MVV, maximální volní ventilace při hyperventilaci): proband by měl provádět hluboké a rychlé dechy po dobu alespoň 6 až 12 sekund.

VÝPOČET BAZÁLNÍHO A PRACOVNÍHO METABOLISMU PROBANDA

Vypočítejte teoretický bazální a pracovní metabolismus probanda s využitím rovnic 1, 2 a 3.

ERGOMETRIE

Tento pokus slouží k výpočtu spotřebované energie a respiračního kvocientu v klidu a při zátěži. Sledována bude spotřeba kyslíku a výdej oxidu uhličitého při různé míře zátěže. Pro definování zátěže bude použit ergometr Ergoline 100. Během experimentu sledujte u probanda hodnotu krevního tlaku a tepovou frekvenci. Dále zaznamenávejte minutovou ventilaci a poměr vydechovaného CO_2/O_2 s využitím výdechové soustavy konvenčního ventilátoru a dvojcestného ventilu. Probanda nepřipojujte na inspirační větve ventilátoru!

1. Probanda nechte relaxovat několik minut vsedě a poté nechte ho 1 minutu dýchat skrz spirometr. Pro měření zapněte test MV (minutová ventilace), který vyhodnocuje dechový objem za minutu. Během relaxace proveďte také měření tlaku krve a tepové frekvence. Proveďte odečet koncentrace CO_2 a O_2 ve vydechovaném vzduchu.
2. Na ergometru nastavte zátěž 50 wattů a nechte probanda šlapat po dobu 10 minut. Správnou kadenci šlapání vyhodnotí ergometr rozsvícením zelené diody na panelu ergometru, vyšší či nižší kadenci ergometr zobrazuje pomocí červené šipky. Během tohoto intervalu proveďte měření minutové ventilace, tlaku krve a tepové frekvence v 4. a v 8. minutě. Proveďte odečet koncentrace CO_2 a O_2 ve vydechovaném vzduchu.
3. Měření opakujte také pro hodnoty zátěže 100 a 150 wattů. Nezvyšujte zátěž na vyšší stupeň, pokud hrozí, že se srdeční frekvence vyšplhá na 170 BPM nebo vzroste-li systolický tlak na 200 mmHg.
4. Po třetím intervalu (150 wattů) probandovi pomalu snižujte zátěž a nechte jej postupně vyšlapat až po zastavení úsilí (síla 150→0 wattů, ukončení šlapání, cca 1minutová fáze). Po další minutě (2 minuty od posledního

Návod na cvičení 1: Energetika organismu; ergometrie; měření plicních objemů

měření) provedte opět měření minutové ventilace, tlaku krve, tepové frekvence a vydechovaných plynů. Toto měření pak provedte ještě po dalších 3 minutách.

5. Pro jednotlivé intervaly provedte výpočet RQ a hodnotu spotřebované energie. K výpočtu použijte závislost pro výpočet klidového metabolismu a rovnici 4 a rovnici 5.
6. Stanovte, zda se jedná o trénovaného jedince: udává se, že po 2 minutách od ukončení zátěže by se tepová frekvence probanda měla snížit na 120 tepů/min a méně.

Monitoring krevního tlaku (TK) a srdeční frekvence (SF)

Provedte postupně tři libovolné fyzické aktivity (např. dřepy, kliky, běh na místě apod.) pod dobu jedné minuty a zaznamenávejte si údaje o TK a SF

	v klidu	50 W po 4 min.	50 W po 8 min.	100 W po 4 min.	100 W po 8 min.	150 W po 4 min.	150 W po 8 min.	2 min po zátěži	5 min po zátěži
systolický tlak (TK _s)									
diastolický tlak (TK _d)									
SF (z tlakoměru)									
Minutová ventilace (MV)									
O ₂ (%)									
CO ₂ (%)									

Postup měření TK:

1. Upevnění manžety na paži

Svlékněte si z paže těsně přiléhající oděv a silné oblečení, jako například svetr. Nepřikládejte manžetu přes silné oblečení a nevyhrnujte si rukáv, je-li příliš těsný.

2. Vsuňte paži do manžety.
3. Nastavte paži do správné polohy.

Návod na cvičení 1: Energetika organismu; ergometrie; měření plicních objemů

Dolní okraj manžety by měl být 1 až 2 cm nad loktem. Indikátor (šipka pod hadičkou) by měl být umístěn uprostřed vaší vnitřní části paže. PEVNĚ utáhněte pásek se suchým zipem. Manžeta by měla být ve stejné úrovni jako vaše srdce.

4. Stiskněte tlačítko O/I START. Manžeta se začne automaticky nafukovat.
5. Po měření sejměte manžetu.

Postup měření SF:

1. Připojte EKG do PC a připevněte svorky na končetinové svody
2. Spusťte program S1515
3. Umístěte svorky s elektrodama na končetiny
R – pravá ruka (značí se červeně)
L – levá ruka (značí se žlutě)
F – levá noha (značí se zeleně)
N - zemnicí elektroda (značí se černě)
4. Změřte EKG
5. Spočítejte SF podle rovnice (interval R – R je časový rozdíl dvou sousedních hrotů R)

$$SF = \frac{60000}{R - R}$$

KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Čím je způsobený kyslíkový dluh?
2. Na čem závisí rychlost návratu TK do normálních hodnot po zátěži?
3. Může se během zátěže diastolický krevní tlak snižovat? Proč?
4. Jakými (fyziologickými) mechanismy lze v organismu kontrolovat parciální tlak O₂ a CO₂?
5. Jak se mění RQ v klidu a při zátěži? Srovnajte vaše měření s literaturou
6. Veškerý krevní oběh v lidském těle závisí na rozdílu tlaku. Jaký je tento tlak?
7. Co můžeme říci o vývoji objemů kyslíku a oxidu uhličitého při námaze?
8. Definujte Frank-Starlingův zákon.
9. Definujte laminární proudění.

Literatura

- [1] Kučera, P. (2013). Respiration physiology. Biosystém člověka. Kladno.
- [2] Lauralee Sherwood: Human physiology, From cells to Systems, 9th edition, 2016. Možnost stažení zdarma (Academia.edu)
- [3] W. Boron, E.L. Boulpaep Medical Physiology, 3d edition, Elsevier 2016.
- [4] A.C. Guyton, J.E. Hall Textbook of Medical Physiology, 13th edition, Elsevier 2015

