

**III. blok**

- 7. *Metabolismus***
- 8. *EKG***
- 9. *SIM shrnutí cirkulace a respirace***

## 7. Elektrokardiologie

(O. Kittnar, J. Slaviček)

### Elektrokardiografie (EKG)

#### . Úvod

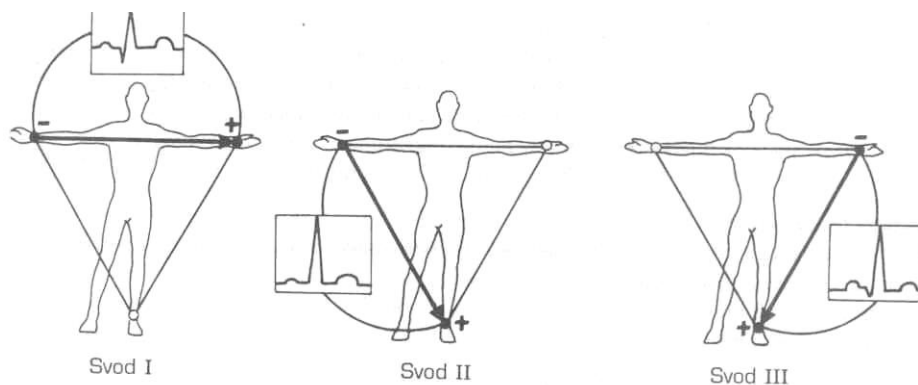
Elektrokardiografie patří již několik desítek let mezi nejběžnější a také nejcennější vyšetřovací metody v kardiologii. Nelze však nikdy zapomenout, že řada změn, které se mohou na EKG signálu objevit, je nespecifických a nemohou proto sloužit k jednoznačnému stanovení diagnostického závěru. Vždy je třeba brát v úvahu také další klinicky významné příznaky a výsledky jiných vyšetření.

Během každého cyklu elektrické aktivace srdce se vytváří elektrické pole, které lze zaznamenávat systémem elektrokardiografických svodů z povrchu těla.

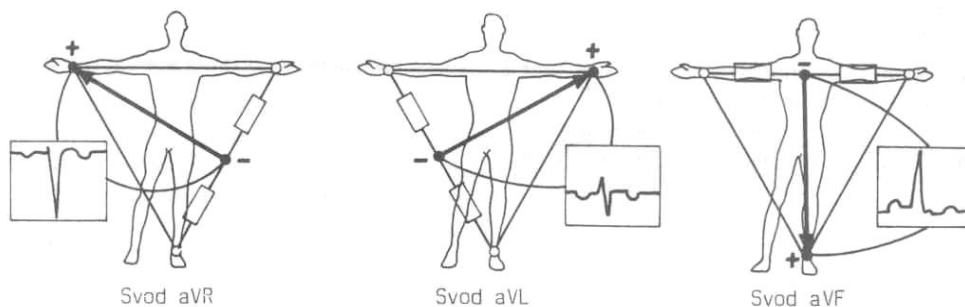
Standardní **bipolární končetinové** svody I, II a III zaznamenávají rozdíly elektrických potenciálů mezi dvěma místy lidského těla (obr. 6.1).

**Pseudounipolární končetinové svody** aVR, aVL a aVF používají jednu tzv. explorativní elektrodu a zaznamenávají rozdíl elektrického potenciálu mezi touto elektrodou a elektrodou indiferentní, která je vytvořena spojením kabelů ze zbývajících dvou končetin (tzv. Goldbergerova svorka – obr. 6.2.).

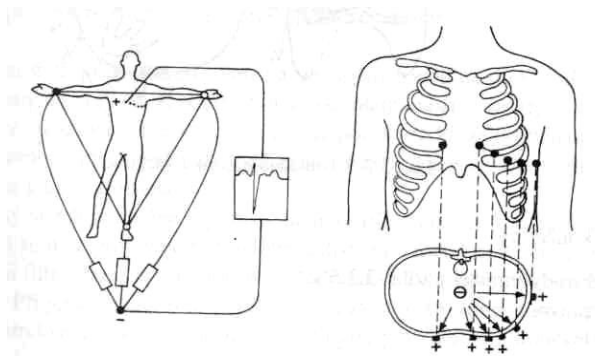
**Unipolární hrudní svody** V1 až V6 používají jako indiferentní elektrodu svorku vytvořenou spojením kabelů ze všech tří používaných končetinových elektrod přes odpor 5 k $\Omega$  (tzv. Wilsonova svorka – obr. 6.3.).



Obr. 6.1. Uspořádání bipolárních končetinových svodů



Obr. 6.2. Uspořádání pseudounipolárních končetinových svodů



Obr. 6.3. Uspořádání unipolárních hrudních svodů

Srdeční myokardiální buňky po elektrickém podráždění generují akční napětí, které může být u každé buňky vyjádřeno elementárním vektorem. Sečteme-li v daném okamžiku všechny elementární vektory, vzniká tzv. okamžitý vektor. Obecně platí, že ve svodech, ke kterým okamžitý srdeční vektor právě směřuje, se zapisuje pozitivní výchylka, kdežto ve svodech, od kterých se orientace okamžitého vektoru vzdaluje, registrujeme zápornou výchylku. Pokud probíhá vektor rovnoběžně s linií svodu, promítá se na něj celou délkou a na EKG registrujeme maximální výchylku. Pokud vektor směřuje kolmo k linii svodu, zaznamenáme nulovou výchylku.

### Elektrokardiografické svody

Bipolární svody I, II a III registrují rozdíly mezi elektrickými potenciály na dvou explorativních elektrodách:

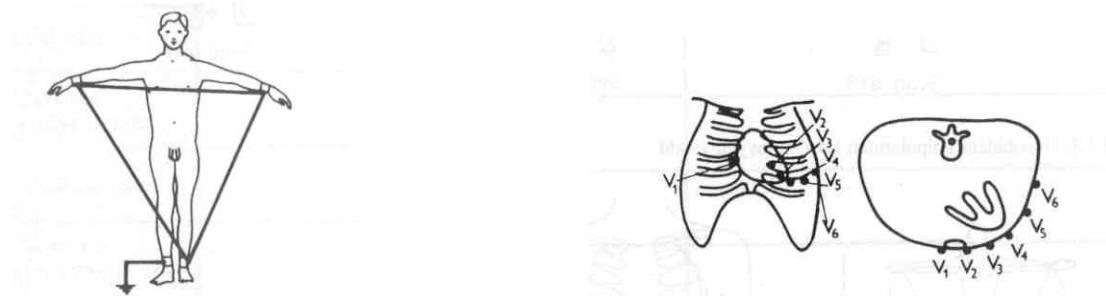
- svod I mezi pravou a levou horní končetinou,
- svod II mezi pravou horní a levou dolní končetinou,
- svod III mezi levou horní a levou dolní končetinou.

Pseudounipolární končetinové svody zaznamenávají elektrický potenciál:

- aVR z pravé horní končetiny, proti rozdílu potenciálů z levé horní a dolní končetiny
- aVL z levé horní končetiny, proti rozdílu potenciálů z pravé horní a levé dolní končetiny
- aVF z levé dolní končetiny, proti rozdílu potenciálů z pravé a levé horní končetiny.

Takto obdržíme 6 končetinových svodů (3 bipolární a 3 pseudounipolární) zaznamenávaných končetinovými elektrodami (obr. 6.1., 6.2.), které jsou umístěny následovně:

- žlutá L předloktí levé horní končetiny,
- červená R předloktí pravé horní končetiny,
- zelená F bérec levé dolní končetiny,
- černá N (zemní) bérec pravé dolní končetiny.



Obr. 6.4. vlevo: Eithovenův trojúhelník a zemní elektroda vpravo: Umístění hrudních elektrod

Hrudní svody, kterých je celkem rovněž 6, mají elektrody umístěny (obr. 6.4.):

- červená V1 4. mezižebří parasternálně vpravo,
- žlutá V2 4. mezižebří parasternálně vlevo,

zelená	V3	mezi V2 a V4,
hnědá	V4	5. mezižebří medioklavikulárně vlevo,
černá	V5	mezi V4 a V6,
fialová	V6	ve stejné výši jako V4 ve střední axilární čáře vlevo.

Referenční elektroda hrudních svodů je ve středu Wilsonovy svorky (obr. 6.3.).

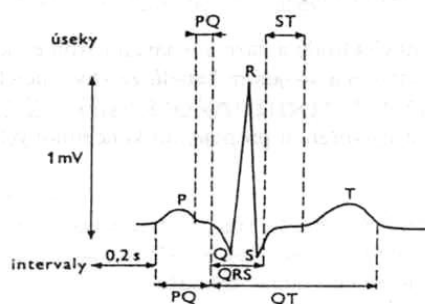
Je třeba si uvědomit, že kvalita záznamu je z velké části závislá na kvalitě elektrod a přípravě pacienta na vyšetření. Elektrody přikládáme vždy po důkladném očištění a odmaštění kůže pod elektrodami. Před přiložením elektrod nanese na kůži pod elektrodami tenkou vrstvu EKG gelu. V případě potřeby doporučujeme ještě před tím kůži pod elektrodami oholit, popřípadě otřít rohovou vrstvu kůže drsnější tkaninou.

Odpor na elektrodě klesne až po chvíli, kdy gel pronikne do rohové vrstvy kůže, proto také kvalita záznamu s časem roste. Je tedy lepší po nanesení gelu a přiložení elektrod chvíli počkat, než začneme pořizovat záznam. Velkou roli pro celkovou kvalitu záznamu hraje také zemnicí elektroda.

### Elektrokardiografická křivka

Při posuzování elektrokardiografické křivky si všímáme řady parametrů. Při *rutinním* popisu EKG je třeba uvádět jako nezbytnou součást klinického vyhodnocení tyto údaje:

- **rytmus** – zdroj srdečního rytmu. Fyziologický rytmus z SA uzlu označujeme *sinusový rytmus*,
- **akce** – pravidelná nebo nepravidelná,
- **tepová frekvence** (z intervalu RR: 60/trvání RR v sekundách, normálně 60–80 min<sup>-1</sup>),
- **trvání vlny P** (od začátku vlny P do konce vlny P, normálně 60–100 ms),
- **interval PQ** (od začátku vlny P do začátku komplexu QRS, normálně 120–200 ms, ale POZOR, u trénovaných sportovců s bradykardií může být i delší),
- **šíři QRS** (od začátku do konce komorového komplexu, normálně 60–100 ms),
- **interval QT** (od začátku komplexu QRS do konce vlny T, jeho délka závisí na tepové frekvenci a proto se obvykle normalizuje na tepovou frekvenci 60 za min – tzv. QTc, normální hodnota QTc je 0,340–0,420 s, ale může se prodlužovat s věkem),
- **sklon elektrické osy srdeční** (směr sumačního vektoru QRS ve frontální rovině, normálně –15° až +105°).



Analýza EKG prováděná *specializovanými* lékaři – kardiology podrobnější a bude předmětem studia ve vyšších ročnících.

je ještě

Obr. 6.5. Konfigurace EKG křivky

### Předzpracování naměřeného záznamu

U klasických EKG přístrojů je signál zaznamenáván analogově a vykreslován na papír (nejčastěji termicky na termocitlivý papír). Posun papíru přitom určuje podrobnost záznamu v časové složce, nastavení měřítka v amplitudové složce. Standardně se používá rychlost posunu papíru:

25 mm/s (1 mm pak představuje 40 ms), nebo podrobnější:

50 mm/s (1 mm představuje 20 ms),

a amplituda:

1 cm/mV, vzácněji 2 cm/mV, nebo ½ cm/mV.

U modernějších přístrojů je signál během předzpracování převáděn do digitální podoby. V předzpracování prochází EKG signál především dvěma operacemi: jednak analogově digitálním převodem a jednak filtrací.

Analogově digitální převod znamená, že změny napětí na snímacích elektrodách zaznamenávané kontinuálně v čase jsou převedeny na řady čísel, odpovídající hodnotám napětí v určitých časových intervalech. Délka těchto intervalů je určována tzv. vzorkovací frekvencí. Ta určuje počet vzorků zaznamenaných z každého svodu za 1 s. Čím vyšší je vzorkovací frekvence, tím přesněji je EKG záznam zaregistrován, ale na druhou stranu je pak také náročnější

na zpracování i kapacitu paměti počítače.

Pořízený signál je možné v případě nadměrného zatížení šumem filtrovat různými filtry podle povahy šumu: Nízkofrekvenční šum se projevuje rytmickým kolísáním izoelektrické linie (např. v rytmu dýchání). Můžeme se jej zbavit pásmovými filtry, které odstraňují nízké frekvence. Tyto filtry však mohou zkreslit pomalejší děje, tedy zejména vlnu P a vlnu T. Při jejich hodnocení je proto třeba zvažovat i skutečnost, zda byl nebo nebyl některý z těchto filtrů použit.

Vysokofrekvenční šum se projevuje rychlými pravidelnými kmity. Odstraňuje se pásmovými filtry, které eliminují vysoké frekvence. Tyto filtry mohou zkreslit komplex QRS, především snížit jeho amplitudu! Na to je třeba pamatovat zejména tehdy, kdy je amplituda komorového komplexu použita ke stanovení diagnózy.

Nepravidelný šum se projevuje nepravidelnými rychlými kmity kolísavé amplitudy. Odstraňujeme jej šumovým filtrem.

Síťový šum se projevuje pravidelnými kmity s frekvencí 50 Hz. Odstraňujeme jej síťovým filtrem. Také tento flitr může snížit amplitudu komorového komplexu.

I tyto přístroje dodržují výše uvedená standardní časová a amplitudová měřítka.

### Úkoly

1. Pořízení EKG záznamu
2. Parametry EKG záznamu

### 6.1.5. EKG záznam

#### Provedení:

1. Na jednom dobrovolníkovi provedeme EKG záznam při rychlosti posunu papíru 25 mm/s alespoň po dobu 1–2 min.
2. Ve druhé polovině záznamu necháme vyšetřovaného zhluboka dýchat.
3. Pak uděláme 25–30 s záznam při rychlosti posunu 50 mm/s.
4. Do protokolu vlepíme jednu akci pořízenou při rychlosti posunu papíru 50 mm/s ve všech 12 svodech a popíšeme jednotlivé svody (vlevo nalepíme končetinové, vpravo hrudní).
5. Křivky proměříme a vyplníme následující protokol o vyšetření.
6. Vlepíme desetisekundový proužek z jednoho svodu z úseku hyperventilace.
7. Popíšeme, zda se mění interval RR během vlepěného úseku, a vysvětlíme případné změny rytmu.
8. Určíme sklon elektrické osy srdeční do předkresleného obrázku 6.7.B.

#### Hodnocení:

Jméno vyšetřovaného:

Datum vyšetření:

Sledované parametry		Sledované parametry	
Tepová frekvence		Amplituda P v II.	mV
Trvání vlny P		Amplituda S ve V2	mV
Interval PQ		Amplituda T ve V2	mV
Komplex QRS		Amplituda R ve V5	mV
Interval QT		Amplituda T ve V5	mV
Pravidelnost rytmu		Amplituda T ve V1	mV

### Popis EKG záznamu

#### 1. Identifikace vln, kmitů a intervalů

Při prohlížení EKG záznamu nejprve zjistíme, zda akce má všechny náležitosti, tj. zda má vlnu P (depolarizace síní), komorový komplex QRS (depolarizace komor) a vlnu T (repolarizace komor). Pak změříme jednotlivé intervaly na vybrané srdeční akci.

Zkontrolujeme, zda všechny srdeční akce na záznamu mají vlnu P a zda se interval PQ neliší mezi jednotlivými akcemi a zda mají všechny komplexy QRS v jednom svodu vždy stejný tvar.

## 2. Určení srdeční frekvence

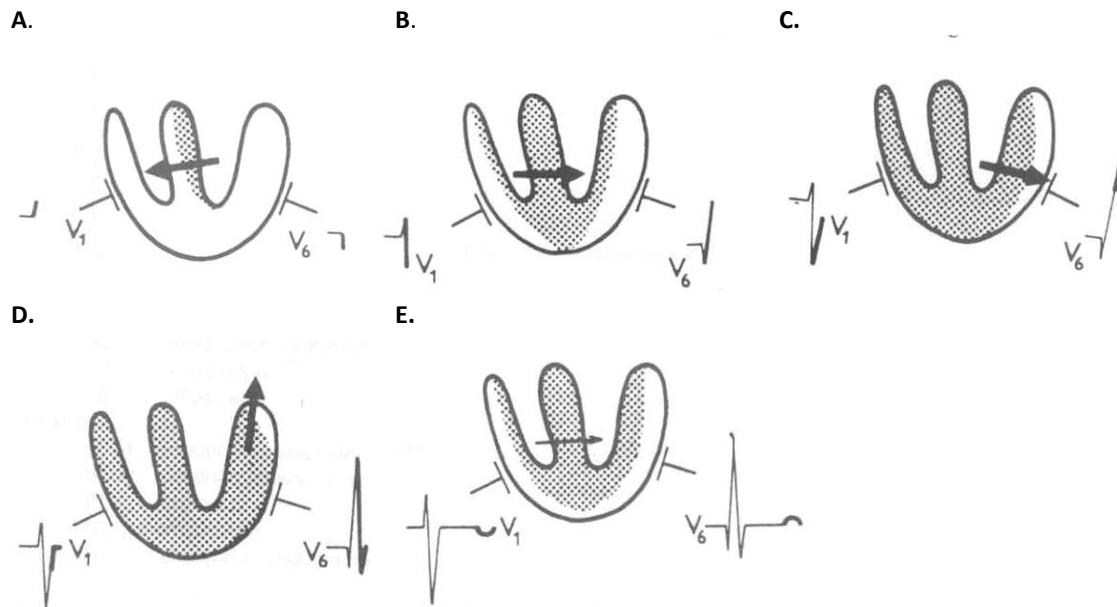
Změříme interval RR a spočítáme tepovou frekvenci:

trvání srdeční revoluce = vzdálenost RR / rychlost posunu papíru,

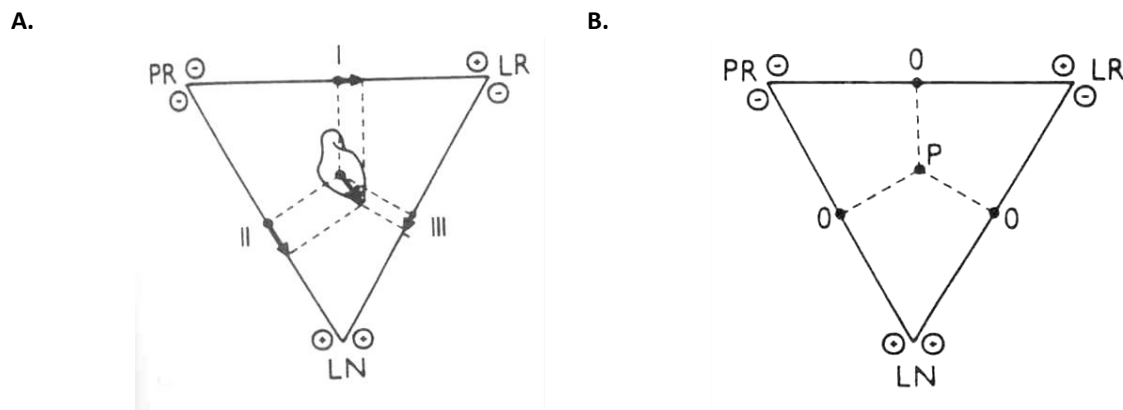
srdeční frekvence = 60 / trvání srdeční revoluce.

## 3. Interpretace tvaru komorového komplexu, úseku ST a polarity vlny T

**V komplexu QRS** platí obecná zásada, že směřuje-li směr postupu vlny depolarizace směrem k registrační elektrodě (u unipolárního svodu) nebo od záporného ke kladnému pólu bipolárního svodu, zaznamenává se kladná výchylka. Směřuje-li vlna depolarizace od registrační elektrody (resp. od kladného k zápornému pólu svodu), je na záznamu výchylka negativní (např. svod V1 na obr. 6.6.B. a C.).



Obr. 6.6. **A.** Depolarizace mezikomorového septa, **B.** Depolarizace volných stěn komor od endokardu, **C.** Depolarizace subepikardiálních vrstev levé komory, **D.** Depolarizace bazální části levé komory **E.** Repolarizace komor



Obr. 6.7. **A.** Elektrická osa srdeční a její konstrukce, **B.** určení sklonu elektrické osy srdeční

**Úsek ST** má být ve všech svodech přibližně v izoelektrické linii, u mladších jedinců se nalézá často ascendentní průběh, kdy úsek směřuje od komorového komplexu přímo vzhůru do vlny T, takže je úsek ST obtížně identifikovatelný. Takový průběh ST úseku není patologický a v popisu EKG se uvádí jako „syndrom časně repolarizace“.

**Vlna T.** Repolarizace postupuje opačně než depolarizace (od epikardu k endokardu) a síla elektrického pole je v důsledku pomalejšího postupu myokardem nižší než při depolarizaci, takže i výsledná výchylka je nižší. S výjimkou V1 by měla být polarita T vlny v hrudních svodech kladná (vektor směřuje doleva, protože jeho směr určuje repolarizace stěny levé komory) (obr. 6.6.E.), u končetinových svodů platí obecná zásada, že polarita vlny T má být totožná s polaritou největšího kmitu komplexu QRS.

#### **4. Určení sklonu elektrické osy srdeční**

Elektrická osa srdeční odpovídá směru maximálního okamžitého vektoru depolarizace ve frontální rovině. Směřuje od srdeční báze k hrotu a nejsnáze ji určíme z klasických bipolárních končetinových svodů, uspořádaných do tzv. Einthovenova trojúhelníku (obr. 6.7.A.).

Nejprve stanovíme velikost vektorové složky depolarizace ve svodech I a II: změříme výšku jednotlivých kmitů QRS komplexu a od pozitivní výchylky R odečteme negativní výchylky svodů Q a S. Výslednou hodnotu nanese pro oba svody na příslušnou stranu trojúhelníku tak, že je-li výsledná výchylka kladná, směřuje vektor od záporného pólu svodu ke kladnému, je-li záporná, směřuje od kladného k zápornému. Směr elektrické osy srdeční je určen spojnicí počátku souřadnicového systému a průsečíku kolmic na jednotlivé strany trojúhelníku v místě konců vektorů (obr. 6.7.B.).

#### **Kontrolní otázky:**

1. Vysvětlíte, proč na křivce není vidět projev repolarizace síní.
2. Jak se změní záznam EKG při pohybu pacienta a proč?
3. Jsou totožné – anatomická a elektrická osa srdeční?

## 8. Měření metabolismu u člověka

(Hrachovina, Mlček, Mlčková, Nedbalová)

### Úvod

Pojem metabolismus vyjadřuje soubor všech chemických a energetických přeměn v organismu.

V tomto praktickém cvičení se chceme věnovat pouze energetickým bilancím organismu. Popis anabolických a katabolických dějů, kterými se zabývá biochemie, zde zcela vynecháme.

Smyslem této kapitoly je uvědomit si, jaké energetické nároky organismus má na pouhé zachování života, kolik energie navíc spotřebuje na fyzickou aktivitu, na udržení teploty, když je zdrav a je vystaven chladu nebo naopak není-li zdrav a má vysokou teplotu. Dalším krokem bude pochopit, že energetické nároky a jejich krytí jsou poměrně jednoduše dopočitatelné. Tato dovednost patří ke vzdělání lékaře, což ilustrováme dvěma krajními situacemi, které budete v budoucnu řešit:

- léčba obezity
- vedení výživy pacienta v těžkém stavu, který sám potravu nepřijímá

V obou případech vyvstane otázka: Kolik výživy má dostat, aby jeho energetická bilance byla vyrovnaná nebo přiměřeně negativní či pozitivní.

Vyrovnaná energetická bilance představuje stav, kdy se příjem energie se rovná výdeji.

Příjem = Výdej

Příjem energie je zajišťován potravou. Organismus je zabezpečen proti období přerušeno přísunu potravy (i třeba na delší dobu) schopností tvořit zásoby (lipidy v podobě tukové tkáně, proteiny, například svalové a sacharidy jako jaterní a svalový glykogen). Ty jsou v případě přerušeno příjmu potravy substrátem pro regeneraci tkání a zdrojem energie.

**Příjem = Výdej ± zásoby**

Oba krajní případy: přebytek i nedostatek potravy mají závažné důsledky pro organismus. (Nutnost správného složení potravy zatím necháváme stranou, i když je pro zdraví velmi důležité.)

**Obezita** je spojena s rozvojem metabolického syndromu (hypertenze, ateroskleróza, hyperlipoproteinémie, diabetes mellitus II. typu), zatěžuje pohybový aparát, rozvíjí se rychleji artróza kloubů a je dokonce i rizikovým faktorem mnohých malignit.

**Převaha výdeje energie nad jejím příjmem** vede k hubnutí až kachektizaci organismu. Udržení vyrovnané energetické bilance je důležité kvůli dobré funkci organismu. Při podvýživě například vážne regenerace tkání, hojení, obranyschopnost proti infekci. Hormonální regulace organismu může být rovněž dysfunkční, protože řada hormonů je vázána na tukovou tkáň.

**Regulace příjmu potravy:**

Při dostatku energetických zdrojů je zajištění vyrovnané energetické bilance organismu regulováno na dvou úrovních. Jednak krátkodobě, v horizontu jednoho jídla (dosažení sytosti inhibuje další příjem potravy) a jednak dlouhodobě udržováním konstantního množství zásob (tukové tkáně). Dlouhodobé zpětné vazby inhibující příjem potravy (je-li množství zásob již dostatečné) jsou bohužel poměrně subtilní, a je proto možné je vůlí překonat. (Doporučená literatura: J. Mysliveček, Hypotalamus, Regulace příjmu potravy, učebnice Lékařské fyziologie O. Kittnara a kolektivu autorů)



## Cílem praktika je pochopit a naučit se:

1. Kvantifikovat obsah energie v potravě
2. Vyčíslit energetické nároky organismu
3. Změřit aktuální energetickou potřebu organismu
4. Zhodnotit alespoň zhruba stav výživy (množství tukových zásob) jedince
5. Seznámit se s funkcemi hormonů štítné žlázy

### 1. Obsah energie v potravě

Zdrojem energie jsou sacharidy, tuky a bílkoviny v potravě.

**Energetický obsah složek je určen jejich spalným teplem.**

**Sacharidy: 17 kJ/g      Tuky: 39 kJ/g      Bílkoviny: 23 kJ/g**

Jedná se o energii, která se uvolní úplným spálením 1 g živiny na CO<sub>2</sub> a H<sub>2</sub>O za přítomnosti O<sub>2</sub>.

Degradací bílkovin in vivo vznikají metabolické produkty, s nezanedbatelným energetickým obsahem (např. močovina), které už lidský organismus dále neštěpí. Proto fyziologická energetická hodnota bílkovin (reálně využitelný energetický obsah) je 17 kJ/g.

Podrobnosti viz Atlas fyziologie člověka, Silbernagl et. al.

Zastoupení jednotlivých složek v potravě se může podle dietních zvyklostí lišit, ale v našich podmínkách obvyklá strava většinou obsahuje 60% sacharidů, 25% tuků a 15 % bílkovin.

*Inspirace: všimněte si složení a kalorických hodnot potravin, které běžně jíte, je to poučné*

### 2. Energetické nároky organismu

1. Bazální energetická přeměna (bazální metabolismus – BM) zajišťuje energii nutnou pro zachování života (aktivní transport přes membrány, krevní oběh, dýchání, činnost žláz s vnitřní sekrecí, růst a regenerace tkání).
2. Fyzická aktivita, vykonávání práce. Veškerá energie chemických vazeb není při fyzické aktivitě přeměněna na práci, jelikož se při pohybu uvolňuje energie tepelná. Poměr vykonané práce a spotřebované energie vynaložené na fyzickou aktivitu odpovídá účinnosti této fyzické aktivity. Přibližně si můžeme představit, že účinnost pohybové aktivity člověka je okolo 30%.
3. Termoregulace. Pro udržení stálé tělesné teploty potřebuje organismus energii.
  - Mechanismy zadržení nebo zvýšené produkce tepla: vazokonstrikce v kůži, zvýšení svalového tonu, svalový třes, hormonální regulace účinnosti dýchacího řetězce (např. hormony štítné žlázy - zvýšení produkce tepla na úkor syntézy ATP), a další.
  - Mechanismy zvyšující tepelné ztráty a omezující produkci tepla: vazodilatace v kůži, zvýšená činnost potních žláz, snížení termogeneze, a další.
4. Procesy trávení a vstřebávání živin včetně uložení do zásob vyžadují energetický vklad. Tato položka se nazývá specificko - dynamický účinek potravy. Z energie obsažené v přijatých tucích a cukrech spotřebovává na specificko-dynamický účinek 4-6% jejich energetického obsahu, u proteinů je to mnohem více (±25% energie v nich obsažených).

**E = BM + energie vynaložená na fyzickou aktivitu + termoregulace + specificko-dynamický účinek potravy**

**Bazální metabolismus** je množství energie, které organismus spotřebovává za standardních klidových podmínek:

- Relaxované bdění
- Fyzický i duševní klid, poloha vleže
- Termoneutrální prostředí (taková teplota okolí a oděv, při které organismus spotřebovává na udržení stálé tělesné teploty minimální energii)
- Stav nalačno, kdy už se neprojevuje specificko-dynamický účinek potravy

Množství energie spotřebované v bazálních podmínkách záleží na **věku** (mladší jedinci s převahou anabolismu mají hodnoty vyšší), **pohlaví** (muži s větším podílem svaloviny, metabolicky aktivnější tkáň, mají hodnoty rovněž vyšší)

a samozřejmě na **velikosti organismu**.

Kromě toho hrají roli i další faktory. Příklady:

- Hormonální podmínění energetické homeostázy (je velmi složité, uvádíme jen ilustrační příklady):
  - i. Individuálně vyšší bazální sekrece hormonů dřeně nadledvin (adrenalin) a hormonů štítné žlázy (T3, T4) zvyšuje energetickou spotřebu
  - ii. Dlouhodobé hladovění snižuje bazální metabolismus (množství energie spotřebované za bazálních podmínek).
- Úroveň klidového svalového napětí: Úzkostná osoba s vyšším klidovým svalovým tonem má vyšší spotřebu energie za bazálních podmínek než jiná, spíše flegmatická osobnost s nižším svalovým napětím.

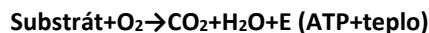
*Pozn: zde se věnujeme pouze bazálnímu metabolismu za fyziologických podmínek. Z patologických příčin mohou být hodnoty bazálního metabolismu významně odlišné. (Např. hypertyreózu doprovází výrazné zvýšení energetické spotřeby snížením účinnosti oxidativní fosforylace.)*

### 3. Měření energetické potřeby organismu

**Aktuální hodnotu energetické přeměny konkrétního člověka lze změřit přímou nebo nepřímou kalorimetrií .**

**Přímá kalorimetrie** vychází ze skutečnosti, že veškerá energie vydaná organismem se postupně uvolní ve formě tepla, které lze měřit v energeticky uzavřeném systému. Ilustrace viz Atlas fyziologie člověka, Silbernagl et. al.

**Nepřímá kalorimetrie** je mnohem méně náročná metoda, která využívá skutečnosti, že množství energie uvolněné v organismu je přímo úměrné množství spotřebovaného kyslíku.



Poměr spotřebovaného kyslíku a vyprodukované energie se nazývá **energetický ekvivalent kyslíku**. Jaké hodnoty nabývá, záleží na druhu substrátu, který se oxiduje.

Pokud určujeme energetickou přeměnu osoby se smíšenou skladbou potravy (60% sacharidů, 25% tuků a 15 % bílkovin), počítáme se **středním energetickým ekvivalentem kyslíku (SEE)**, což je energie o velikosti 20,1kJ, která se uvolní při utilizaci smíšené stravy 1 litrem kyslíku.

$$\text{SEE} = 20,1 \text{ kJ/l O}_2$$

**Pro množství přeměněné energie za čas tedy platí:**

$$\text{E} = \text{množství spotřebovaného kyslíku} \times \text{SEE}$$

Podrobnosti viz Atlas fyziologie člověka, kapitola 1, Výživa, trávení, Silbernagl et. al. – téma **respirační kvocient**.

Měření energetické potřeby za bazálních podmínek u velké skupiny dobrovolníků všech věkových a váhových kategorií vznikly **Harris –Benediktovy tabulky**. Stejní autoři sestavili empirický výpočet, do nějž je možno dosadit věk, váhu, výšku a pohlaví a **náležitou** hodnotu bazálního metabolismu dopočítat. Nazývá se **Harris-Benediktova rovnice**. V tabulkách vyhledaná nebo rovnicí dopočítaná hodnota bazálního metabolismu analogického člověka, se neshoduje přesně s hodnotami konkrétního člověka. Je tomu tak proto, že hormonální ladění energetické homeostázy je do jisté míry individuální. Orientačně lze však tyto přístupy využít nemáme-li měření k dispozici.

Sještě větší mírou nepřesnosti pro vaši kvantitativní představu lze říci, že pro mladou osobu (20-30 let) v komfortních tepelných podmínkách se spíše sedavým zaměstnáním (student medicíny) odpovídá energetická investice na bazální metabolismus 100 kJ/kg/den. Je to většina energetických investic (2/3 – 3/4) při tomto

způsobu života.

**Používané jednotky:**

1 kcal = 4,2 kJ

1 kJ = 0,24 kcal

#### 4. Hodnocení stavu výživy

Pro posouzení zdravotního stavu jedince je alespoň přibližné stanovení množství tukových zásob nezbytné. Ve vnitřním lékařství koreluje nadměrné množství zejména útrobního tuku s výskytem onemocnění srdce a cév, v gynekologii naopak chybění tělesného tuku s poruchami menstruačního cyklu a plodnosti. Výčet by mohl být pochopitelně mnohem delší.

#### Metody odhadu množství tělesného tuku

4.1. **Podíl tuku na celkové hmotnosti** může být posouzen **měřením tloušťky kožní řasy** nebo **vážením pod vodou**.

4.2. **Body mass index (BMI)**

V běžné praxi se nejčastěji používá stanovení **indexu tělesné hmotnosti - body mass index (BMI)**.

Jednoduše ho spočítáme podle vztahu:

$$BMI = \frac{hmotnost[kg]}{(výška[m])^2}$$

Nebo jej lze odečíst z nomogramu na **obrázku 1**.

Z nomogramu získáme hodnotu BMI tak, že vedeme spojnicí mezi údajem naší výšky a údajem naší hmotnosti (krajní sloupce nomogramu) a tam, kde tato přímka protne sloupec BMI je naše hodnota indexu tělesné hmotnosti.

#### Hodnocení BMI pro dospělé osobu (podle WHO, zjednodušeno):

BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	Hodnocení
méně než 18	podvýživa
18 – 25	přiměřená hmotnost
25 – 30	nadváha
30 – 40	obezita

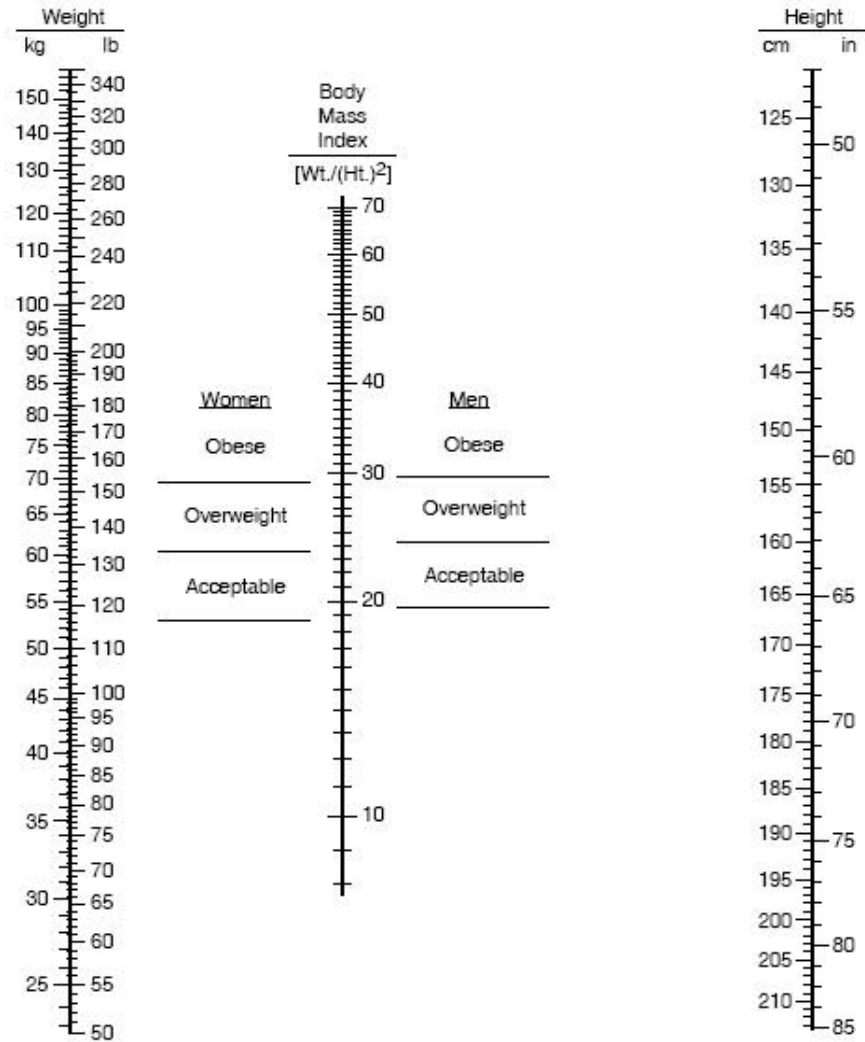
Komentář: BMI není zcela jednoznačný ukazatel pro hodnocení tělesné konstituce, protože nerespektuje zastoupení svalové a tukové tkáně. Z tohoto důvodu se v klinické praxi stále častěji používá poměr obvodu pasu a boků nebo pasu a celkové výšky (viz níže). Dále je potřeba upozornit na odlišné hodnocení v dětském věku (např. hodnoty, které odpovídají v 10 letech obezitě, mohou v 15 letech znamenat přiměřenou hmotnost.)

4.3. **Waste-hip ratio (WHR)**

Z hlediska rizika rozvoje metabolického syndromu hraje roli i rozložení tukové tkáně. Větší riziko představuje nahromadění útrobního tuku (apple-like obesity) ve srovnání s tukem na bocích a stehnech (pear-like obesity). Proto se posuzuje i **poměr obvodu pasu a boků, waste-hip ratio (WHR)**.

$$WHR = \text{obvod pasu (cm)} / \text{obvod boků (cm)}$$

Podle WHO je hranicí obezity pro ženy WHR 0.85 a pro muže 0.9.



Obr. 1. Nomogram pro stanovení indexu tělesné hmotnosti = BMI (body mass index)

## 5. Funkce hormonů štítné žlázy

Hlavním hormonem štítné žlázy je tyroxin (tetrajodtyronin, T4, 90% hormonální produkce). Biologicky aktivnější trijodtyronin, T3, tvoří asi 9% a neaktivní rT3 1% produkce žlázy.

Sekrece T4, T3 a rT3 je řízena hypotalamo-hypofyzární osou. Jejich koncentrace v plazmě je fyziologicky velmi málo proměnlivá. Kromě TSH má na zvýšení jejich produkce vliv i chlad.

Syntéza hormonů folikulárními buňkami je závislá na přívodu jódu potravou nebo vodou. Hormony štítné žlázy jsou lipofilní, proto jsou v krvi vázány na bílkoviny (specifický globulin a prealbumin). Plazmatickou membránou do buněk pronikají naopak snadno. Před navázáním na cytosolový receptor se až 90 % T4 konvertuje na T3. Komplex hormon – receptor je transportován do jádra buněk, kde ovlivňuje tvorbu mnoha typů mRNA a tím v ribosomech syntézu různých typů proteinů. (Kromě jádra hormony štítné žlázy ovlivňují mitochondrie, kde stimulují energetický metabolismus.).

*(Pozn.: štítná žláza obsahuje kromě folikulárních buněk ještě buňky parafolikulární, které tvoří peptidový hormon kalcitonin. Ten se podílí na regulaci kalcémie a fosfatémie).*

### Základní účinky tyroxinu a trijodtyroninu:

1. zvyšují metabolickou aktivitu buněk (až na dvojnásobek oproti klidové aktivitě), a tím spotřebu kyslíku a produkci tepla (kalorigenní účinek)
2. ovlivňují: metabolismus sacharidů (zvyšují vychytávání glukózy buňkami, glykolýzu, glukoneogenezi), metabolismus lipidů (mobilizace lipidů, zvyšují FFA v plazmě a oxidaci FFA v buňkách, snižují cholesterolemii) i bílkovin (roste proteokatabolismus)
3. zvyšují minutovou ventilaci
4. působí na oběhový systém (zvyšují srdeční výdej a snižují periferní odpor)
5. zvyšují erytropoézu
6. stimulují činnost CNS (zvýšená dráždivost, zrychlení reflexní odpovědi),
7. ovlivňují vývoj a diferenciaci CNS (nedostatek T4 během vývoje vede k poruchám syntézy proteinů a diferenciaci nervových buněk, je narušena myelinizace, což může vyústit v ireverzibilní poškození mentálního vývoje).
8. Ovlivňují růst těla, zejména kostí do délky
9. Zvyšují citlivost tkání k pohlavním hormonům

### Praktické úkoly:

1. Stanovení klidové energetické potřeby člověka, srovnání s tabelárními hodnotami bazálního met.
2. Odhad denního výdeje energie
3. Odhad energetického obsahu potravy přijaté za den
4. Stanovení indexu tělesné hmotnosti (BMI) a poměru obvodu pasu a boků - waist – hip ratio (WHR)
5. Bazální metabolismus u laboratorního potkana. Vliv hormonů štítné žlázy na energetický obrat

## 1. Stanovení klidové energetické spotřeby

### Provedení:

Při praktickém cvičení je obtížné splnit všechny podmínky měření bazálního metabolismu, proto budeme měřit pouze **klidovou energetickou přeměnu** a náležitou hodnotu BM vyhledáme v tabulkách. Použijeme tabulky podle Harrise a Benedicta. Tyto tabulkové hodnoty odpovídají metabolismu vzorku zdravých osob vyšetřovaných za bazálních podmínek.

Výsledek vyjádřený v kJ/min. převedeme na hodnoty v kJ/24 hod.

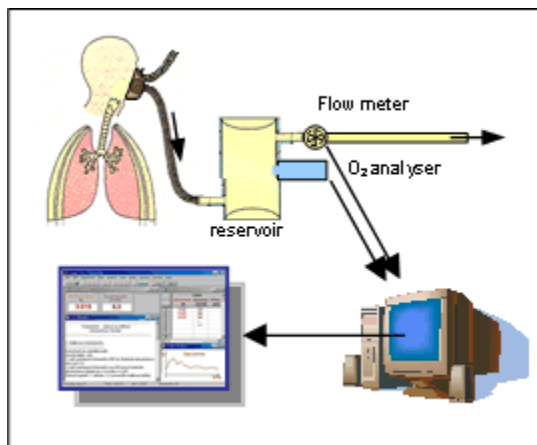
**Klidovou energetickou přeměnu** (KEP, resting metabolic rate - RMR) měříme metodou nepřímé kalorimetrie. Při této metodě měříme spotřebu kyslíku. Protože  $O_2$  není v organismu skladován a jeho spotřeba je úměrná aktuálním potřebám, je množství  $O_2$  spotřebované za jednotku času úměrné množství vyprodukované energie. Průměrné množství uvolněné energie na 1 litr spotřebovaného  $O_2$  je 20,1 kJ (4,82 kcal) a označuje se jako střední energetický ekvivalent kyslíku (EE). Toto množství energie se uvolní při spálení (oxidaci) směsi živin průměrného složení (60 % cukrů, 25 % tuků, 15 % bílkovin) 1 litrem  $O_2$ .

### Provedení:

Spotřebu kyslíku měříme jednoduchým metabolimetrem sestaveným z komponent měřícího systému Vernier. Principem měření je stanovení:

- průměrné koncentrace  $O_2$  ve vydechaném vzduchu
- plicní ventilace


Princip zapojení aparatury je znázorněn na schématu. Jelikož množství plynu v měřeném objemu závisí na aktuálním tlaku a teplotě, je součástí aparatury také teplotní a tlakové čidlo. Na obrázku 10.2. je



podrobnější schéma zapojení všech komponent měřící aparatury tak, jak by mělo být připraveno před měřením. Systém se tedy skládá z:

- nádoby, ve které se mísí vzduch vydechovaný z mrtvého a alveolárního prostoru
- čidel: O<sub>2</sub>, průtok vzduchu, teplota, tlak
- A/D převodníku (LabPro)
- PC s programem pro záznam a výpočet

**Postup:**

1. zkontrolujte zapojení přístrojů a napájení
2. spusťte úlohu *Měření metabolismu člověka* z intranetové stránky praktik.
3. zkontrolujte kalibraci O<sub>2</sub> sensoru. Při expozici čidla atmosférickému vzduchu by koncentrace O<sub>2</sub> měla být 20.7 % (vzhledem k vzdušné vlhkosti).
4. do portu rezervoáru označeného AIR IN připojte hadici připojenou na výdechový port **čisté** anesteziologické masky
5. Instruujte vyšetřovaného studenta, aby si nasadil těsnící masku, 5 minut se adaptoval na klidné dýchání s touto pomůckou a pak proveďte během dalších 5 minut měření To spusťte tlačítkem „Collect“ .
6. Na dotaz, zda uchovat předchozí měření (Store latest) nebo předchozí smazat (Erase latest) odpovědět podle potřeby.
7. Sledujte studenta a grafy měřených a počítaných hodnot.
8. Měření automaticky skončí po 5 minutách, pokud ne – stiskněte Stop.
9. Stanovte průměrnou ventilaci a koncentraci kyslíku ve vydechovaném vzduchu, vypočtete RMR a interpretujte výsledky.
  - a. Ke stanovení průměrných hodnot je vhodné použít nástroj ‘Statistics’ (menu Analyze -> Linear Fit) a vybrat vhodný úsek záznamu

- b. Vypočtete spotřebu O<sub>2</sub>cons.

$$O_2cons. = MV(pO_2insp - pO_2ex)$$

O<sub>2</sub>cons. – minutová spotřeba O<sub>2</sub>

MV – minutová ventilace

pO<sub>2</sub>insp, pO<sub>2</sub>ex – koncentrace kyslíku ve vdechovaném a vydechovaném vzduchu

- c. Objem kyslíku je třeba korigovat na standardní teplotu a tlak (t = 0°C, p = 760 Torr)

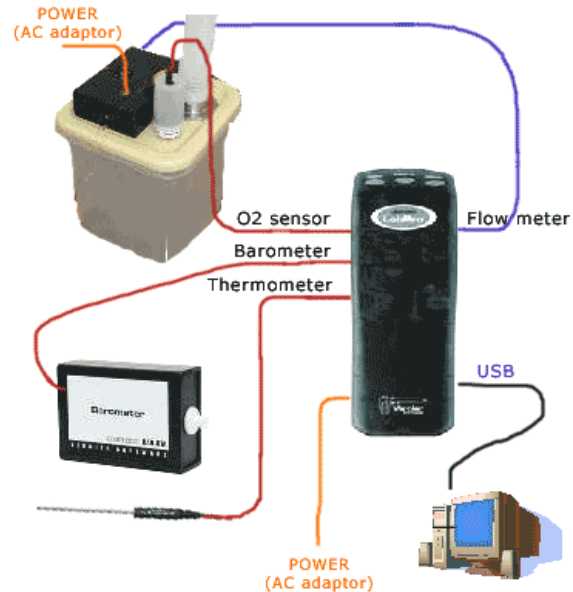
$$V_0 = V_1 \cdot \frac{273}{273 + T[^\circ\text{C}]} \cdot \frac{BT}{760 \text{ Torr}}$$

V<sub>0</sub> = korigovaný objem spotřebovaného kyslíku, V<sub>1</sub> = objem spotřebovaného kyslíku v podmínkách experimentu, T = teplota během experimentu, BT = barometrický tlak během experimentu.

- d. Vypočtete metabolickou přeměnu:

$$RMR = O_2cons_{V_0} \cdot EE$$

*Schéma měření*



*Obr. 10.2. Schéma zapojení komponent měřící aparatury*

**Hodnocení:**

Jméno/věk/hmotnost/výška	Tabulková hodnota BM (kJ/24 hod)	KEP (kJ/24 hod)	Poměr klidové přeměny a BM v %

Závěr:

**Klinická aplikace:**

Pokud člověka postihne závažné onemocnění provázené bezvědomím, které si vynutí řízenou ventilaci, nemůže sám přijímat potravu. (Jako příklad si uveďme závažnou autonehodu, nebo septický stav\*) Po stránce výživy je zcela odkázán na péči okolí. Jeho organismus má v obou popsaných stavech v klidu na lůžku větší energetický výdej (regenerace tkání, zvýšená teplota) než při analogické aktivitě u zdravého.

Toto praktikum ukazuje, že je možné stanovit aktuální energetickou potřebu organismu změřením spotřeby kyslíku. Stačí snímat koncentraci kyslíku ve vydechovaném vzduchu a minutovou ventilaci. Oba parametry měří ventilátory používané k podpoře dýchání. To znamená, že u ventilovaných nemocných máme monitorovaný energetický výdej a můžeme podle něj upravit energetický obsah podávané výživy.

-----  
 \*Septický stav je generalizovaný zánět organismu, nekontrolovaně se šířící bakteriální infekce, provázená zvýšením teploty a celkového metabolického obratu

**2. Odhad denního výdeje energie****Provedení:**

1. Odhad denního výdeje energie provedeme tak, že k bazálnímu metabolismu připočteme přírůstek na trávicí činnost, specificko-dynamický účinek živin (to je asi 5% energetického obsahu sacharidů a tuků a 25% energetického obsahu bílkovin) a přírůstek na výdej energie spojený s tělesnou činností. Neznámá zůstane spotřeba na termoregulaci.
2. Výsledky zapíšeme do protokolu.

Výdej energie na svalovou činnost se vyjadřuje přepočtem na jednotku tělesné hmotnosti a času. Jedná se však jen o určitý odhad, celkový výdej závisí především na intenzitě, s jakou danou činností vykonáváte, ale také na vaší trénovanosti a mnoha dalších faktorech. Příklady energetických spotřeb při běžných činnostech a při sportu najdete na uvedené adrese.

<https://www.stobklub.cz/clanek/energeticky-vydej-pri-pohybovych-aktivitach/>

**Hodnocení:****Celkový denní energetický výdej pro vyšetřovaného:**

Jméno vyšetřovaného	
BM – tabulková hodnota/24 hodin	

Hodiny činnosti	Druh činnosti	Energetický výdej

<b>Celkový denní energetický výdej</b>		

**Závěr:**

### 3. Odhad energetické hodnoty potravy přijaté za den, denní energetická bilance

#### Úvod

Energetická hodnota (EH) potravin se udává v tabulkách na obalech potravin. Nebo ji lze vyhledat v databázích potravin vytvořených za účelem racionálního stravování. Jednu z možných adres uvádíme.

<https://www.stobklub.cz/potraviny-kategorie/4/>

#### Provedení:

1. Do tabulky zapíšeme jednotlivé potraviny, které jsme během dne zkonsumovali.
2. Stanovíme jejich váhové množství.
3. Zjistíme jejich energetickou hodnotu a zastoupení jednotlivých živin.
4. Výsledky sečtete a porovnáte se svým energetickým výdejem (viz předchozí úloha) ve stejném dni.

#### Hodnocení:

Potraviny	Celkem (g)	EH (kJ)	B (g)	T (g)	C (g)
<b>Celkem</b>					

**Závěr:** Energetická bilance v daném dni byla spíše pozitivní/vyrovnaná/ negativní.



#### 4. Stanovení indexu tělesné hmotnosti (BMI) a waist –hip ratio (WHR)

##### Provedení:

1. Do tabulky zapíšeme údaje o své tělesné hmotnosti, výšce a odečteme hodnotu BMI. Změříme obvod pasu a boků a určíme WHR.
2. Porovnáme údaje u 5 osob.

##### Hodnocení:

Jméno	Hmotnost	Výška	BMI	WHR	Vyhodnocení

##### Závěr:

#### 5. Bazální metabolismus u laboratorního potkana. Štítná žláza

Velikost bazálního metabolismu u potkana posuzujeme podle spotřeby kyslíku v jednoduchém spirometru. Toto měření postupně provedeme u dvou zvířat. U kontrolního zvířete a u potkana s hypofunkcí štítné žlázy navozenou karbimazolem (což je syntetický inhibitor hormonů štítné žlázy, který se používá při léčbě hypertyreózy) podávaným tři týdny před experimentem ve vodě k pití.

**Pomůcky:** oddělené chovné nádoby se zvířaty, metabolimetr, teploměr, barometr.

##### Provedení:

1. zkontrolujte zapojení přístrojů a napájení,
2. spusťte úlohu *BMR laboratorního potkana* z intranetové stránky praktik,
3. zkontrolujte kalibraci O<sub>2</sub> sensoru. Při expozici čidla atmosférickému vzduchu by koncentrace O<sub>2</sub> měla být 21 %.
4. Vybraného potkana přemístíme do metabolimetru obsahujícího natronové vápno.
5. Metabolimetr zavřeme víčkem s kyslíkovým analyzátozem.
6. Spustit měření tlačítkem „Collect“
7. Na dotaz, zda uchovat předchozí měření (Store latest) nebo předchozí smazat (Erase latest) odpovědět podle potřeby.
8. Sledovat potkana a graf koncentrace O<sub>2</sub> na monitoru.
9. Měření automaticky skončí po 5 minutách.
10. Otevřít metabolimetr, buď po měření nebo kdykoliv pokud pO<sub>2</sub> klesne pod 17 %.
11. Popsaným způsobem provedeme měření u obou zvířat v experimentu.
12. Stanovte spotřebu O<sub>2</sub>, vypočítejte BMR a interpretujte výsledky
  - a. Ke stanovení spotřeby je vhodné použít nástroj 'Linear Fit' (menu Analyze -> Linear Fit) a vybrat vhodný úsek záznamu pO<sub>2</sub>. Údaj „slope“ přímo vyjadřuje změnu koncentrace O<sub>2</sub> (v %/min).
  - b. Získané hodnoty potom upravíme podle vzorce:

$$V_0 = V_1 \cdot \frac{273}{273 + T[^\circ\text{C}]} \cdot \frac{BT}{760 \text{ Torr}}$$

V<sub>0</sub> = korigovaný objem spotřebovaného kyslíku, V<sub>1</sub> = skutečný objem spotřebovaného kyslíku v

podmínkách experimentu, T = teplota během experimentu (°C), BT = barometrický tlak během experimentu. Výslednou hodnotu přepočteme na 100 g hmotnosti potkana, event. přepočteme na spotřebu za 24 h

**Hodnocení:**

Kontrolní spotřeba O <sub>2</sub>	
Spotřeba energie u kontrolního zvířete /min	
Spotřeba energie u kontroly/24 hod	
Spotřeba O <sub>2</sub> při hypofunkci	
Spotřeba energie při hypofunkci/min	
Spotřeba energie při hypofunkci/24 hod	

**Závěr:**

**Kontrolní otázky:**

1. Jaké jsou nejdůležitější faktory ovlivňující úroveň energetické přeměny v organismu?
2. Co je to bazální energetická přeměna?
3. Za jakých podmínek ji lze stanovit?
4. Co je to střední energetický ekvivalent kyslíku a jaká je jeho hodnota?
5. Co je to respirační kvocient?
6. Jak je regulována sekrece tyroxinu?
7. Jmenujte funkce hormonů štítné žlázy.
8. Jaké jsou projevy hyperfunkčního syndromu štítné žlázy?
9. Jaké jsou projevy hypofunkčního syndromu štítné žlázy ?

Datum:

Podpis :.....

